

Aus dem
Medizinischem Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Philipps-Universität Marburg
Geschäftsführende Direktorin: Prof. Dr. med. Heike Korbmacher-Steiner
Abteilung für Zahnerhaltungskunde

Mikrohärte der Kavitätenwände nach Fluoreszenz- unterstützter Kariesexkavation (FACE) in vitro

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

Dem Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Anna Laura Schimanski

geboren in
Siegburg

Marburg 2016

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität

Marburg am:

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. Helmut Schäfer

Referent: Prof. Dr. Andreas Braun

1. Korreferent:

Meinen Eltern gewidmet

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

1. Einleitung.....	7
2. Literaturüberblick.....	9
2.1 Aufbau eines Zahnes.....	9
2.2 Ätiologie einer Karies und das ICDAS-System.....	11
2.3 Verfahren der Kariesdiagnostik.....	17
3. Versuchsplanung und Zielsetzung.....	21
4. Material und Methode.....	22
4.1 Versuchsdesign.....	22
4.2 Versuchsvorbereitungen.....	24
4.2.1 Auswahl der Versuchszähne.....	24
4.2.2 Vorbereitung der Versuchszähne.....	25
4.2.3 Kariesexkavation.....	26
4.2.4 Vorbereitung der Zähne für die Härtemessung des Dentins.....	27
4.3 Versuchsdurchführung.....	28
4.3.1 Kleinhärtemessung.....	28
4.4 Statistische Auswertung.....	31
5. Ergebnisse.....	33
5.1 Ergebnisse der Zeitmessung.....	33
5.2 Ergebnisse der Härtemessung.....	34

6. Diskussion.....	45
6.1 Auswahl der Versuchszähne.....	45
6.2 Kariesexkavation.....	45
6.3 Vorbereitung der Zähne für die Härtemessung.....	47
6.4 Kleinhärtemessung.....	47
6.5 Diskussion der Ergebnisse.....	48
6.6 Überprüfung der Arbeitshypothesen.....	52
7. Klinische Schlussfolgerungen.....	53
8. Zusammenfassung.....	54
9. Englische Zusammenfassung.....	56
10. Literaturverzeichnis.....	58
11. Materialliste.....	64
12. Verzeichnis der akademischen Lehrer.....	65
13. Danksagung.....	66

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
Abb.	Abbildung
df	Freiheitsgrade
FACE	Fluorescence aided caries excavation
Gew. %	Gewichtsprozent
HV	Vickershärte
ICDAS	International caries detection and assessment system
KNH	Knoop-Hardness-Numbers
min	Minuten
mm	Millimeter
n	Probengröße
nm	Nanometer
p	Signifikanz/ Prüfkraft
Tab.	Tabelle
Wilcoxon-W.	Wilcoxon- Rangsummenstatistik
µm	Mikrometer

1. Einleitung

Zahnkaries ist ein bakteriell bedingter Vorgang, der zur Erweichung der Zahnoberfläche führt und damit verbunden letztendlich zum Zahnhartsubstanzverlust.

Bereits 1898 erklärte Miller dies in seiner chemoparasitären Theorie zur Ätiologie einer Karies und legte damit den Grundstein der zahnmedizinischen Forschung. Den Begriff „Karius und Baktus“ kennen heutzutage bereits die Kleinsten. Doch auch heute, viele Jahre nach Millers revolutionärer Theorie, ist die Diagnose einer Karies durch den Zahnarzt noch eine sehr subjektive Entscheidung. Wie erkennt der Behandler, wo eine Karies beginnt und wo sie endet?

Im Rahmen der modernen Zahnheilkunde stellt die vollständige Entfernung kariöser Zahnhartsubstanz zur Vermeidung eines Kariesrezidivs das höchste Ziel der zahnerhaltenden Therapie dar. Dieser Sachverhalt wurde bereits 1826 von Koecker gefordert (Hoffmann-Axthelm 1973). Gleichzeitig sollte bei der Kariestherapie aber auch der Erhalt gesunder Zahnhartsubstanz angestrebt werden. Um sowohl die vollständige Entfernung einer Karies bei gleichzeitigem maximalen Erhalt gesunder Zahnhartsubstanz zu gewährleisten, muss die Diagnose der Karies mit einer hohen Spezifität und Sensitivität erfolgen (Lussi et al 1995).

Mittlerweile gibt es zahlreiche verschiedene Verfahren zur Diagnose einer Karies, von denen ein jedes seine eigenen Charakteristika, Einsatzgebiete sowie Limitationen bei der Anwendung aufweist. Ein allgemein akzeptiertes Verfahren, neben der herkömmlichen Methode mit Spiegel und Sonde, um eine Kavität als eindeutig kariesfrei bewerten zu können, ist bislang jedoch noch nicht entwickelt worden. So wird die vollständige Entfernung kariös erweichter Substanz noch immer vor allem durch die taktile Untersuchung mit einer zahnärztlichen Sonde überprüft, wobei die Härte der Zahnhartsubstanz das entscheidende Kriterium ist. Das sondenhartes Dentin als kariesfrei zu betrachten ist, wurde durch mehrere mikrobiologische Studien belegt (Banerjee et al. 2000; Kidd et al. 1996).

Die taktile Untersuchung von Zahnhartsubstanz ist allerdings stark abhängig vom subjektiven Empfinden des behandelnden Arztes.

Die Zuverlässigkeit dieses Diagnoseverfahrens wurde von Parfitt et al. (1954) und Miller und Hobson (1956) in Frage gestellt. Den Autoren gelang es im Vergleich zur Histologie eine starke Variabilität der Sondierung nachzuweisen und schlossen daraus, dass die Retention der Sonde nicht nur von einer Karies abhängig ist, sondern auch von anderen Faktoren wie Sondierungsdruck, Morphologie oder Größe.

Nach wie vor fehlt also ein objektives Diagnoseverfahren, das zuverlässig zwischen gesunder und erkrankter Zahnhartsubstanz unterscheidet, weshalb die Forschung auf diesem Gebiet längst nicht abgeschlossen ist.

Eins der vielen möglichen Verfahren zur Kariesdiagnostik, das in dieser Dissertation behandelt wird, ist die Fluoreszenz. Kariöse Zahnhartsubstanz fluoresziert erkennbar stärker als gesunde (Klimek et al. 1999). Bereits durchgeführte Studien auf diesem Gebiet zeigten, sowohl in vivo als auch in vitro, vielversprechende Ergebnisse (Bade et al. 2004; Kuhnisch 2004). So konnte beispielsweise eine wissenschaftliche Studie an extrahierten Zähnen zeigen, dass die Nutzung des Fluoreszenz-Gerätes Diagnodent bei der Kariesdiagnostik hoch sensitive und spezifische Ergebnisse erzielte (Fung et al. 2004).

Ob mit der Fluoreszenz ein zuverlässiges objektives Diagnoseverfahren gefunden ist, gilt es noch zu erforschen.

Diese Studie untersucht den Erfolg der Fluoreszenz-unterstützten Kariesexkavation (FACE) mit dem Gerät SiroInspect (Sirona, Bensheim) im Vergleich zur herkömmlichen Methode mittels zahnärztlicher Sonde.

2. Literaturüberblick

2.1 Aufbau eines Zahnes

Der Großteil der Hartsubstanz eines Zahnes besteht aus Dentin oder auch Zahnbein. Im Bereich der Zahnkrone wird das Zahnbein von Zahnschmelz überzogen, im Bereich der Zahnwurzel ist das Dentin von Wurzelzement bedeckt (Abb.1).

Gemeinsam umgeben Schmelz, Zement und Dentin das Pulpencavum, das das Zahnmark enthält (Lehmann 1996).

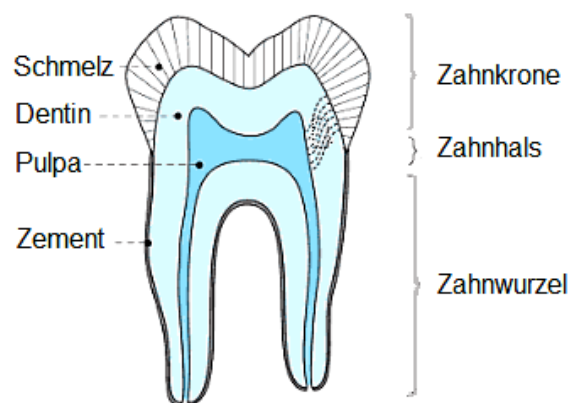


Abb.1: Schematische Darstellung eines Zahnes im Querschnitt
(Hellwig et al., 2009)

Zahnschmelz ist die härteste Substanz des menschlichen Körpers. Seine durchschnittliche Härte beträgt 250 KHN (Knopp-Hardness-Numbers) an der Schmelz-Dentin-Grenze und 390 KHN an der Schmelzoberfläche. Seine Härte ist dabei durch den hohen Anteil (95 Gew %) anorganischer Verbindungen bedingt. Die restlichen 5% bestehen zu 4 Gew.% aus Wasser und zu 1 Gew.% aus organischen Verbindungen wie Proteinen und Lipiden (Schröder 1992). Die Hauptbestandteile des Zahnschmelzes sind Kalzium und Phosphat, Karbonat, Magnesium und Natrium sowie 40 Spurenelemente, von denen nur dem Fluorid

eine Bedeutung beigemessen wird (Nikiforuk 1985). Kalzium und Phosphat verbinden sich unter der Bildung von Kristallen zu dem sogenannten Hydroxylapatit, das unter der chemischen Formel $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ zusammengefasst werden kann (Heidemann 1999). Zahnschmelz ist trotz seiner massiven Härte säurelöslich und kann somit erweichen und verloren gehen. Einmal verloren, kann Zahnschmelz nicht mehr nachgebildet werden (Lehmann, 1996).

Unter dem Zahnschmelz liegt das Dentin. Es umgibt schützend das Pulpecavum mit dem Zahnmark (Pulpa), das aus Blutgefäßen, Nerven, Bindegewebe und Lymphgefäßen besteht (Hellwig et al. 2009). Dentin besteht zu rund 70 % Gewichtsprozent aus Mineralien (vor allem Hydroxylapatit, geringere Mengen an Fluor, Magnesium sowie Spurenelemente), zu 20 Gew.% aus organischen Verbindungen (Kollagen und nichtkollagene Komponenten, Lipide, Ziträt, Laktat, Chondroitinsulfat) und zu 10 Gew.% aus Wasser (Schroeder 1992). Das Dentin wird von Zellausläufern der Odontoblasten durchzogen. Odontoblasten sind Pulpazellen, die den Pulpahohlraum auskleiden. Jeder Odontoblastenfortsatz (Tomes'sche Faser) verläuft in einem eigenen Kanal durchs Dentin. Diese Dentinkanälchen verlaufen leicht geschwungen von der Pulpa bis zur Schmelz-Dentin-Grenze (Lehmann 1996). Ein Odontoblastenausläufer kann bis zu 5000 µm lang sein, der Durchmesser beträgt im Durchschnitt 2-4 µm. Sie geben Seitenäste zu benachbarten Dentinkanälchen ab. Die Dichte der Dentinkanälchen nimmt von 30000-52000/mm² an der Pulpa-Dentin-Grenze auf etwa 10000/mm² an der Schmelz-Dentin-Grenze ab; Zwischen den Dentinkanälchen liegt das peritubuläre Dentin. (Hellwig et al. 2009).

Dentin ist im Gegensatz zum Schmelz also ein vitales Hartgewebe. Wird Dentin freigelegt (z.B. durch ein Trauma oder einen zahnärztlichen Eingriff), so entsteht eine Wunde. Chemische oder physikalische Reize können nun über die offen gelegten Dentinkanälchen die Pulpa erreichen und diese im schlimmsten Fall irreversibel schädigen. Die Odontoblasten reagieren jedoch zusammen mit der Pulpa aktiv auf das Vordringen von Bakterien und deren Stoffwechselprodukten. Dentin kann von den Odontoblasten zeitlebens

nachgebildet werden (Sekundärdentin), so findet man nahe der Pulpa stets einen schmalen unverkalkten Dentinsaum. Angestoßen durch äußere Reize wie beispielsweise Karies, bilden die Odontoblasten Sekundärdentin, welches dann als Tertiärdentin bezeichnet wird (Hellwig et al. 1999). Morphologisch besteht Dentin also aus Odontoblasten, Dentinkanälchen, Prädentin, Zwischendentin, zirkumpulpaalem Dentin, Manteldentin, dem peritubulären Raum und peritubulärem Dentin (Schroeder 1992).

Dentin ist weicher als Zahnschmelz. Primärdentin weist eine Härte von 68 KHN (Knoop-Hardness-Number) auf, Sekundärdentin 85 KHN (Craig 1959).

Die Härte des Dentins nimmt kontinuierlich vom Schmelz zur Pulpa hin ab und ist mit ca. 70 KHN unterhalb des Schmelzes am größten. An der Pulpa sind nur ca. 20-30 KHN zu messen (Fusayama et al. 1968; Meredith et al. 1996).

Das Wurzelzement ist Teil des Zahnhalteapparates und bedeckt die gesamte Zahnwurzel. Das Zement enthält kollagene Fasern, die von der Wurzelhaut (Desmodont) einstrahlen und den Zahn so in seinem Knochenfach verankern (Lehmann et al. 2005).

2.2 Ätiologie einer Karies und das ICDAS-SYSTEM

„Die häufigste Erkrankung der Zahnhartsubstanzen ist die Karies“ (Hellwig et al. 2010). Zahnkaries ist ein bakteriell bedingter Vorgang, der zur Erweichung der Zahnoberfläche führt und damit verbunden letztendlich zum Zahnhartsubstanzverlust (Hellwig et al. 1999). Das Wort „Caries“ stammt aus dem Lateinischen und bedeutet übersetzt soviel wie „Morschsein“ und „Fäulnis“ (Langenscheidt 1985). Der Begriff wurde früher als allgemeiner pathologischer Begriff genutzt und bezeichnete die Zerstörung von Knochengewebe mit eitrigen Einschmelzungen und gelegentlicher Sequesterbildung. Davon unterschieden wurde die „Caries dentinum“, die in ihrer Erscheinungsform einzigartig und so in keinem anderen Organ des Körpers zu finden ist

(Sauerwein 1974).

Es gibt zahlreiche Theorien zur Entstehung der Karies. Das erstmals 1898 von Miller vorgestellte Modell ist heute die allgemein akzeptierte Theorie (Miller 1899). Er war der Auffassung, dass es sich bei der Entstehung von Karies um einen „chemisch-parasitären“ Vorgang handelt. Bei dieser Theorie wird davon ausgegangen, dass bestimmte kariogene Mikroorganismen der Mundhöhle spezielle Substrate (vor allem niedermolekulare Kohlenhydrate) verstoffwechseln und dabei organische Säuren produzieren. Diese Säuren führen zu einer Entkalkung und somit langfristig zu einem Verlust der Zahnhartsubstanz (Miller 1899). Diese Erkenntnis wurde im Laufe der Zeit noch um weitere Faktoren ergänzt, die ausschlaggebend sind für die Entstehung einer Karies: Keyes (1962) ergänzte die Faktoren Wirt und Substrat, König (1971) den Faktor Einwirkzeit.

Zur Entstehung einer Karies tragen demnach vor allem vier Faktoren bei. Wenn diese zusammenwirken, entsteht eine Karies (Abb. 2):

- Wirtsfaktoren (Zähne, Mineralqualität, Speichelfaktoren, Verhalten)
- Substrat
- kariogene Mikroorganismen
- Zeit



Abb.2: Die vier Voraussetzungen zur Entstehung von Karies (König 1971)

Die Plaque dient dabei als Nährboden für diese kariogenen Mikroorganismen, vor allem Laktobazillen und bestimmten Streptokokkenarten. In der Plaque akkumulieren sich diese Bakterienarten und bauen mit der Nahrung zugeführte niedermolekulare Kohlenhydrate zu organischen Säuren ab, die den pH-Wert der Plaque absenken und so die Zahnhartsubstanz auflösen.

Karies ist also die Folge einer bakteriellen Stoffwechselaktivität, an deren Ende die Produktion organischer Säuren steht. Wenn es durch die häufige Zufuhr niedermolekularer Kohlenhydrate ständig zur Säurefreisetzung kommt und die Einwirkzeiten auf die Zahnhartsubstanz lang genug ist, kommt es zur Auflösung des Hydroxylapatits und somit zu einem Verlust der Zahnhartsubstanz. Dabei spielen sowohl azidolytische als auch proteolytische Vorgänge eine Rolle: Die mineralischen Bestandteile werden von säureproduzierenden und die organischen Bestandteile von protease-produzierenden Bakterien aufgelöst (Mittermayer, 1984).

Das Voranschreiten einer Karies umfasst mehrere Stadien und reicht von einer initialen Läsion bis hin zu einer tiefen (pulpanahen) Karies. Eine Schmelzkaries weist dabei andere Eigenschaften auf als eine Dentinkaries und kann histologisch von dieser unterschieden werden. Die ersten Anzeichen einer kariösen Läsion sind die klinisch sichtbaren „white spots“ im Zahnschmelz. Dabei handelt es sich um opake, kreiwig weiße Flecken im Zahnschmelz mit rauer Beschaffenheit. Die pseudo-intakte Oberflächenschicht täuscht gesunden Schmelz vor, tatsächlich handelt es sich jedoch bereits um eine initiale Karies. Histologisch lässt sich die Schmelzkaries von außen nach innen in vier Zonen unterteilen: die pseudo-intakte Oberflächenschicht, der Läsionskörper, die dunkle Zone und die transluzente Zone. Die transluzente Zone weist eine höhere Porosität als gesunder Schmelz auf, sie ist die Zone der fortschreitenden Demineralisation. Die dunkle Zone hat einen Mineralverlust von 6 % und ein Porenvolumen von 2 bis 4 %. Mit einem Porenvolumen zwischen 5 bis 25 % ist der Läsionskörper die ausgedehnteste Zone. Die Oberflächenschicht weist einen Mineralverlust von 1 bis 10 % auf. Zum Vergleich: Gesunder Zahnschmelz hat ein Porenvolumen von 0,1 % (Hellwig 1999).

Dentinkaries unterscheidet sich maßgeblich von einer Schmelzkaries, da Dentin ein vitales Hartgewebe ist und zusammen mit der Pulpa eine Funktionseinheit bildet. Die kariöse Läsion breitet sich entlang der Dentinkanälchen in Richtung Pulpa aus, wobei es zu einer zellulären Abwehr der Odontoblasten kommt (Schroeder 1997). Die Karies kann sich im Dentin unterminierend entlang der Schmelz-Dentin-Grenze ausdehnen oder sich, den Dentinkanälchen folgend, in Richtung Pulpa ausbreiten (Schroeder 1997). Genau wie eine Schmelzkaries kann auch eine Dentinkaries, beginnend an der Pulpa-Dentin-Grenze in Richtung Peripherie, histologisch erkennbar in verschiedene Zonen unterteilt werden (Abb. 3):

1. Tertiärdentin, 2. normales Dentin, 3. sklerotisches Dentin, 4. Dead tract, 5. Zone der Demineralisation, 6. Zone der Penetration, 7. Zone der Nekrose (Hellwig 1999).

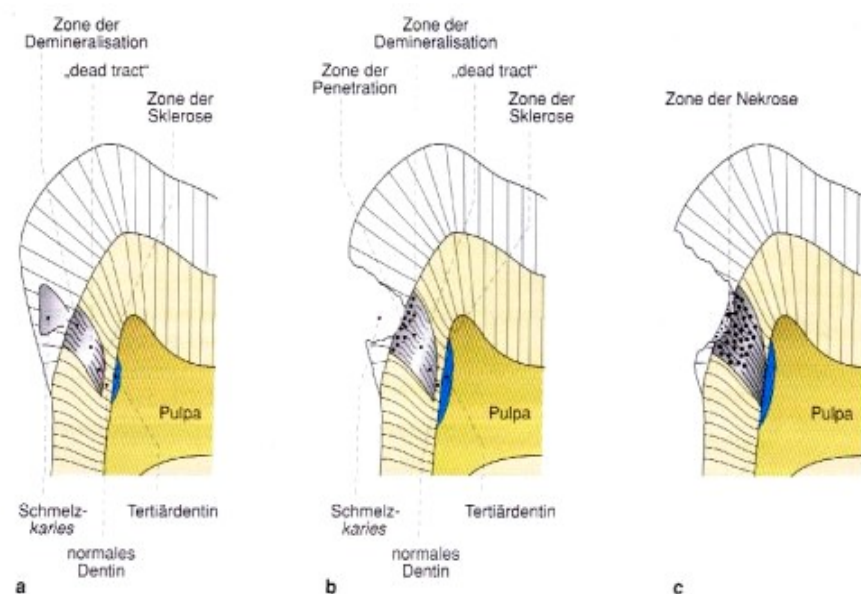


Abb.3: Schematische Darstellung der verschiedenen Stadien der Dentinkaries (Hellwig et. al 1999)

Kariöses Dentin ist ein Produkt bakterieller Demineralisation und damit weicher als gesundes Dentin. Fusayama (1965) maß die Knoophärte des Dentins, ausgehend vom Zentrum einer Karies bis hin zur Pulpakammer. Fusayama stellte folgendes fest: Gesundes Dentin weist als größte Härte ca. 70 KHN und

als geringste an der Pulpa ca. 20 KHN auf. Kariöses Dentin ist dabei signifikant weicher. Schmelzkaries beeinflusst die Dentinhärte nicht.

Mittlerweile gibt es viele verschiedene Systeme, um eine Karies zu klassifizieren, von denen einige einen eher praktischen Zweck erfüllen, andere vor allem in Wissenschaft und Forschung Bedeutung haben.

Eines dieser Systeme ist für diese Studie von besonderer Bedeutung: Das ICDAS System. Das „International Caries Detection and Assessment System“ (ICDAS), wurde 2002 entwickelt und 2005 schließlich in modifizierter Form als ICDAS-II vorgestellt. Es beruht vor allem auf der visuellen Untersuchung der Zahnhartsubstanz und basiert auf einer Vereinigung vieler Kariesdiagnosemethoden, die in epidemiologischen und klinischen Studien als auch in der Praxis verwendet werden. Die Idee hinter dem ICDAS System war die Einführung einer standardisierten und qualitativ hochwertigeren Methode, die auf der Evidenz der bisher vorhandenen Methoden basiert und eine Diagnose und Prognose eines Zahnhartsubstanzdefektes sowie eine Entscheidung über das klinische Management sowohl individuell als auch im öffentlichen Gesundheitswesen ermöglicht. Da das System sowohl kleine, initiale Defekte registriert als auch fortgeschrittene, profunde Karies, kann die Entwicklung der Zahngesundheit in einer Population somit genau festgehalten werden. Die Standardisierung des ICDAS-Systems bietet darüber hinaus den Vorteil, im internationalen Verbund Studien durchzuführen, zu vergleichen und zu publizieren.

Zu diesem Zweck wurden insgesamt sieben ICDAS-Codes entwickelt, die im folgenden vorgestellt werden:

Dabei ist es wichtig, dass die Zähne vor der Untersuchung gesäubert, und im trockenen und feuchten Zustand befundet werden. Das ICDAS-II System ermöglicht es kariöse Veränderungen an Kau- und Glattflächen der Zähne, an den Wurzeloberflächen sowie an Restaurationen und Versiegelungen zu erfassen.

Code 0

Keine sichtbare Karies nach 5 sekündigem Trocknen der Zahnoberfläche mit einem Luftstrom. Nicht kariöse Veränderungen des Zahnschmelzes, sowie Fluorose, Abrasion, Erosion und Verfärbungen werden ebenfalls mit Code 0 befundet.

Code 1

Erste visuelle Veränderungen der Zahnhartsubstanz, die erst nach Trocknung des Zahnes sichtbar sind.

Code 2

Deutliche Veränderungen der Schmelzoberfläche bereits am feuchten Zahn. Die Veränderungen können entweder Opazitäten im Sinne einer White-Spot-Leasion (initiale Karies) sein und/oder bräunliche Verfärbungen in Fissuren/Grübchen.

Code 3

Demineralisation oder Verlust der Schmelzstruktur jedoch ohne sichtbares Dentin. Veränderungen in Fissuren und Grübchen dehnen sich über die ganze Fissur bzw. das ganze Grübchen aus.

Code 4

Schattenbildung im Dentin mit oder ohne Schmelzeinbruch. Die Schattenbildung kann gräulich, bläulich oder bräunlich sein.

Code 5

Deutliche Kavitätenbildung mit sichtbar freigelegtem Dentin. Am getrockneten Zahn ist der Schmelzverlust deutlich sichtbar.

Code 6

Großflächige Kavitätenbildung, dabei ist das Dentin deutlich sichtbar. Mindestens die Hälfte der Schmelzoberfläche ist kariös zerstört, die Pulpa kann betroffen sein.

Das ICDAS System wird auch für die Diagnose der Zahnzwischenraum- und Glattflächenkaries angewendet. Weist der Zahn bereits Restaurationen wie zum Beispiel Füllungen auf, so kann das System unter Verwendung spezieller Kriterien trotzdem verwendet werden (Jablonski-Momeni et al. 2010).

2.3 Verfahren der Kariesdiagnostik

Zur Diagnose einer Karies existieren in vivo und in vitro verschiedene Möglichkeiten. Egal welche Verfahren jedoch zum Einsatz kommen, so sind bei allen Sensitivität, Spezifität und die Reproduzierbarkeit ausschlaggebend. Die Sensitivität beschreibt den Anteil der kariösen Läsionen, die mit einem einzelnen Diagnoseverfahren korrekt als kariös erkannt wurden. So bedeutet eine hohe Sensitivität z.B., dass sich die Diagnose „behandlungsbedürftige Dentinkaries“ nach dem Aufziehen einer Fissur als richtig erweist. Eine hohe Spezifität liegt vor, wenn kariesfreie Zahnflächen tatsächlich auch als kariesfrei erkannt werden. Je höher Spezifität und Sensitivität, desto verlässlicher und aussagekräftiger ist ein Diagnoseverfahren (Lussi et al. 1995).

Folgende Bedingungen müssen moderne Methoden zu Kariesdiagnostik erfüllen (Lussi et al. 1999):

- 1) Karies muss schon so früh erkannt werden, dass noch eine Remineralisation möglich ist,
- 2) die Methode muss objektiv, quantitativ und präzise sein,
- 3) die Methode sollte reproduzierbar sein,
- 4) die Methode muss schnell und ohne Aufwand durchführbar sein,
- 5) jede Karies muss mit sehr hoher Sensitivität und Spezifität erkannt und quantifiziert werden.

In vivo ist die konventionelle, visuelle und manuelle Inspektion des Zahnes die meist angewandte diagnostische Methode (Kühnisch et al 2013). Die konventionelle klinische Inspektion der Mundhöhle beinhaltet immer eine

gründliche Untersuchung aller sichtbaren Zahnflächen. Dazu unabdingbar sind Spiegel, eine gute Lichtquelle, Luft (zum Trocknen der Zahnoberfläche) sowie eine zahnärztliche Sonde zum manuellen Ertasten der Beschaffenheit der Zahnhartsubstanz. Seit Black et al. (1914) wird eine Zahnhartsubstanzläsion als kariös und damit behandlungsdürftig definiert, sobald man mit einer zahnärztlichen Sonde darin hängen bleibt (Jackson et al. 1959, Künzel et al. 1979). Die Zuverlässigkeit dieses Diagnoseverfahrens wurde von Parfitt et al. (1954) und Miller und Hobson et al. (1956) in Frage gestellt. Den Autoren gelang es, im Vergleich zur Histologie eine starke Variabilität der Sondierung nachzuweisen und schlossen daraus, dass die Retention der Sonde nicht nur von einer Karies abhängig ist, sondern auch von anderen Faktoren wie Sondierungsdruck, Morphologie oder Größe. Kidd et al. (1984) warnten sogar davor, dass eine taktile Untersuchung erst Zahnhartsubstanzdefekte verursachen kann.

Neue Errungenschaften der Technik haben die Qualität der Kariesdiagnose weiter verbessert und helfen bei Therapieentscheidungen (Schildowski 2006). Unterstützend können Röntgenbilder angefertigt, Kariesdetektoren, die kariöse Zahnhartsubstanz anfärben, verwendet werden oder die faseroptische Transillumination zum Einsatz kommen. Relativ neu ist die Kariesdiagnostik mittels Fluoreszenz.

Fluoreszenz ist eine Leuchterscheinung bei festen Körpern, Flüssigkeiten oder Gasen. Diese Erscheinung kann mit Licht oder Röntgenstrahlung dadurch erzeugt werden, dass die Atome des fluoreszierenden Körpers Energiequanten der einfallenden Strahlung absorbieren und so in einen angeregten Zustand überführt werden. Da die Atome bestrebt sind, wieder in ihren Grundzustand zu gelangen, geben sie das absorbierte Licht wieder ab. Die dabei frei werdende Energie zeigt sich als Fluoreszenzstrahlung, die immer energieärmer ist als die zuvor adsorbierte Strahlung (Hibst 1999).

Auch kariös veränderte Zahnhartsubstanz kann zur Fluoreszenz angeregt werden. Dies wird durch die Kariesbakterien ermöglicht: Kariesbakterien produzieren im Rahmen ihres natürlichen Stoffwechsels sogenannte Porphyrine, welche Fluorochrome sind. Diese Fluorochrome besitzen die

Eigenschaft zu fluoreszieren (König et al. 1998). Um ihre Fluoreszenz zu erzeugen, können sie mit rotem Licht der Wellenlänge von 655 nm bestrahlt werden. Da kariöse Läsionen diese Porphyrine beinhalten, weisen vor allem kariöse Bereiche eine Fluoreszenz auf. Hier sammeln sich die Porphyrine in den vergrößerten Poren der entmineralisierten Zahnhartsubstanz. Selbst die Diagnose einer Dentinkaries unter einer pseudointakten Schmelzschicht ist möglich, da Zahnschmelz selbst nur sehr schwach fluoresziert (Hibst 1999).

Das Anwenden von Fluoreszenzmessungen unterstützt und erleichtert die Diagnostik einer Karies. So ist es möglich, die Progredienz oder die Stagnation einer fraglichen kariösen Läsion zu beurteilen und den Effekt von Prophylaxemaßnahmen einzuschätzen. Darüber hinaus gewinnt die Fluoreszenzmessung immer mehr an Bedeutung bei der Kariesexkavation (Eberhart et al 2007).

In dieser Studie wurde das Gerät SirolInspect der Firma Sirona Dental (Bensheim) verwendet. Das Gerät besteht aus einer Lichtsonde, einem Lichtleiter und einem Aufsteckfilter (Abb. 4).

Während der Exkavation einer Karies wird der Zahn durch das Gerät mit violettem Licht der Wellenlänge 405 nm beleuchtet. Dadurch werden sowohl die Fluorochrome der Bakterien als auch gesundes Dentin zur Fluoreszenz angeregt. Der Aufsteckfilter filtert kurze Wellenlängen unter 500 nm heraus, höhere bleiben durch den Filter sichtbar. Kariöse Bereiche fluoreszieren rot, gesunde Zahnhartsubstanz dagegen grün. So lässt sich erkranktes Dentin leicht von gesundem unterscheiden.



Abb.4: Bestandteile des SiroInspect-Systems (Quelle: Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim)

Dentinkaries lässt sich in vitro auf verschiedene Arten nachweisen und untersuchen: histologisch, mittels Mikroradiographie und Mikrohärtemessung. Bei der Mikrohärtemessung wird über die Bestimmung der Härte der Mineralisationsgrad der Zahnhartsbstanz bestimmt.

Die Dentinhärte korreliert mit deren Mineralisationsgrad (Featherstone et al. 1983). Als erste beschrieben Knoop et al. (1939) diesen Zusammenhang, später auch andere Autoren (Rautiola, Craig et al. 1961; Fusuyama et al. 1966; Meredith et al. 1996). Seiller untersuchte 1973 die Härte von Zahnhartsbstanzen, und erfasste diese maschinell vergleich- und reproduzierbar. Die Härte eines Körpers ist als dessen mechanischer Widerstand gegen das Eindringen eines anderen härteren Körpers definiert. Man unterscheidet verschiedene Prüfverfahren zur Kleinhärtemessung (nach Vickers, Brinell oder Knoop), die abhängig von der Art des Eindringkörpers sind.

3. Versuchsplanung und Zielsetzung

In dieser In- vitro Studie soll die herkömmliche Exkavation einer Karies, der Fluoreszenz-unterstützten Kariesexkavation (FACE) unter Zuhilfenahme des SirolInspect-Systems der Firma Sirona Dental (Bensheim) gegenübergestellt werden.

Wenngleich auch angenommen wird, dass beide Exkavationsmethoden zur vollständigen Entfernung der Karies führen, so sind die verfügbaren Studien zu diesem Thema eher übersichtlich. Aus diesem Grund ist die Zielsetzung dieser Studie, die Mikrohärte der Kavitätenwände nach der Kariesexkavation mit beiden Methoden zu vergleichen.

Folgende Arbeitshypothesen sollten überprüft werden:

- Die alleinige fluoreszenzbasierte Kariesdiagnostik ist bei der Kariesexkavation ausreichend.
- Die Exkavation einer Karies mit Hilfe des SirolInspect bietet einen zeitlichen Vorteil gegenüber der herkömmlichen manuellen Methode.
- Mit Hilfe des Fluoreszenzverfahrens wird im Vergleich zur herkömmlichen Methode minimalinvasiver gearbeitet.

4. Material und Methode

4.1 Versuchsdesign

Insgesamt wurden 44 kariöse Zähne untersucht (jeweils ICDAS Code 3 und 6), die nach dem Zufallsprinzip in vier Gruppen unterteilt wurden, so dass sich eine gleichmäßige Verteilung der ICDAS Gruppen ergab.

Bei den Zähnen beider Gruppen wurde die Karies mit einem Rosenbohrer in vitro exkaviert. Bei den Zähnen der einen Gruppe wurde der Endpunkt der Kariesexkavation konventionell mit einer zahnärztlichen Sonde bestimmt, bei der anderen Gruppe wurde dazu das SiroInspect der Firma Sirona hinzugezogen. Die Wellenlänge des verwendeten Fluoreszenz-Systems betrug dabei 405 nm und wurde unter Verwendung eines 580 nm Hochpassfilters betrachtet.

Nach erfolgter Exkavation wurden die Zähne derart in zwei Hälften geteilt, dass die Trennlinie genau in der Mitte der Kavitäten verlief. Eine der so entstandenen Zahnhälften wurde anschließend, eingebettet in einer thermoplastischen Masse, auf einen Objektträger aufgebracht. Die fertigen Zahnpräparate konnten nun einer Härtemessung unterzogen werden, welche mit Hilfe eines Kleinhärteprüfgerätes (Durimet, Leitz, Wetzlar) erfolgte. Die Vickershärte des Dentins wurde so, beginnend am Rand der Kavität, über einen Gesamtabstand von 630 µm im Dentin bestimmt. Der Versuchsaufbau ist in Abb. 5 schematisch dargestellt.

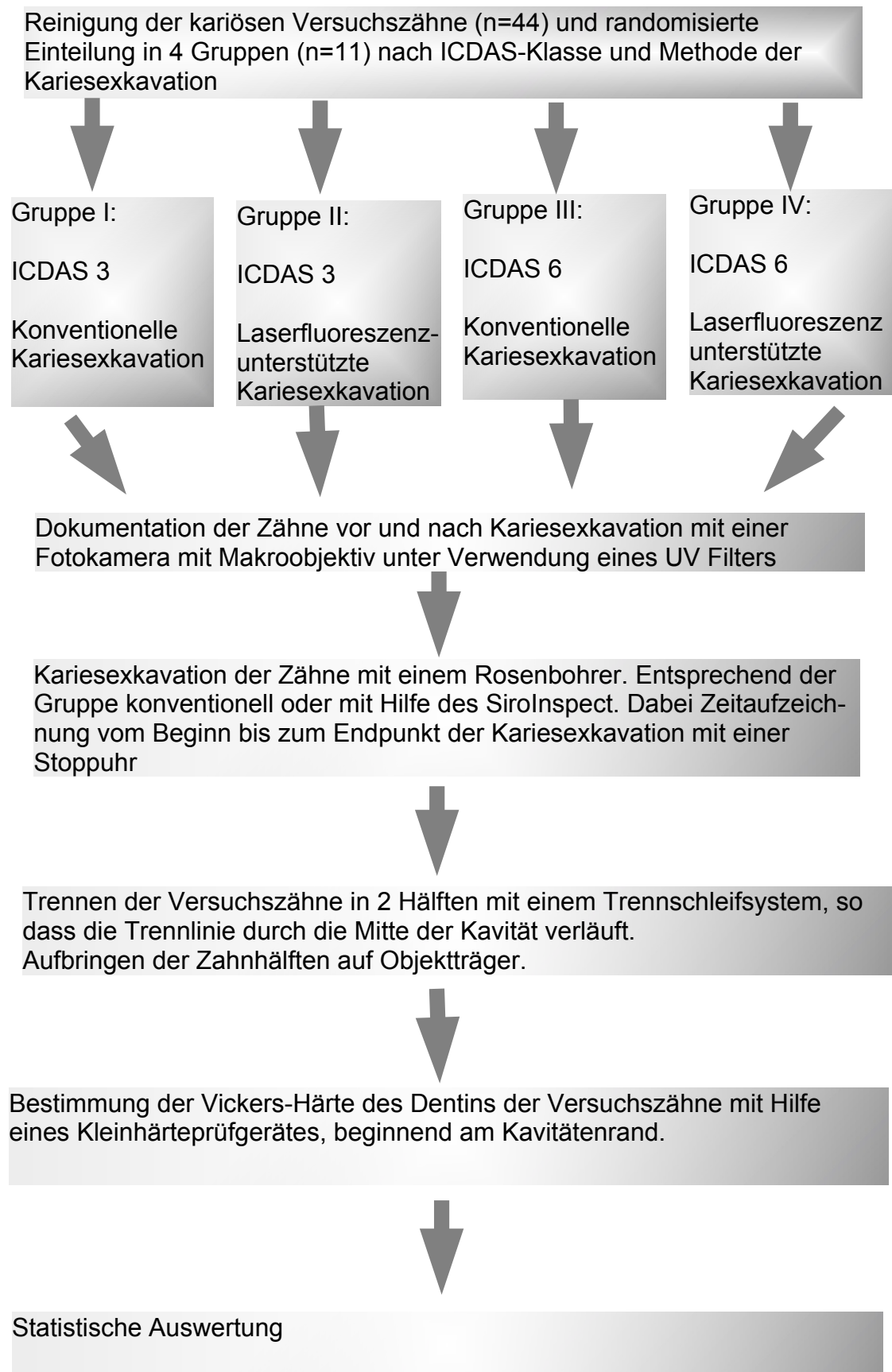


Abb. 5 : schematischer Versuchsaufbau

4.2 Versuchsvorbereitungen

4.2.1 Auswahl der Versuchszähne

Für die Versuchsreihe wurden insgesamt 44 menschliche extrahierte Zähne gesammelt, die allesamt Karies aufwiesen. Die kariösen Läsionen sollten, zum Zwecke der Vergleichbarkeit, in ihrer Ausdehnung den ICDAS-Klassen 3 und 6 zuzuordnen sein (Abb. 6 und 7).

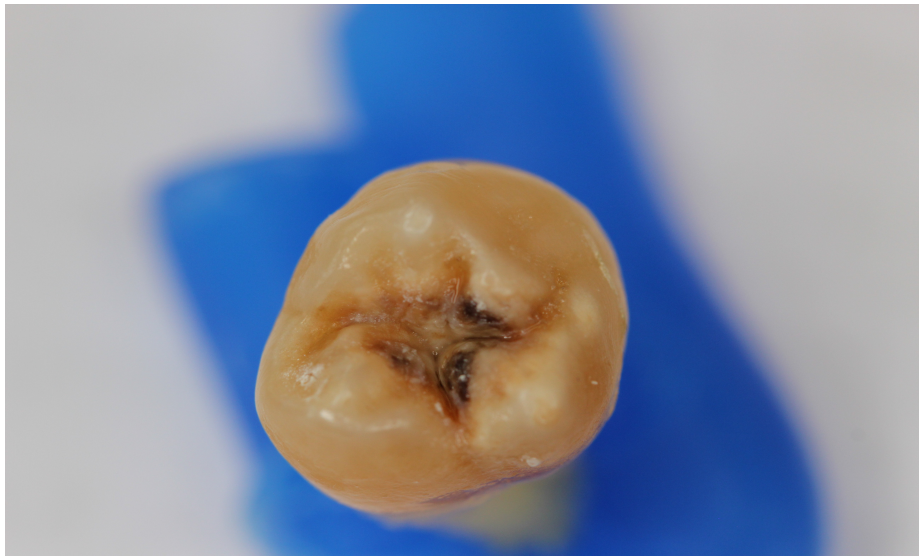


Abb. 6: Kariöse Läsion der ICDAS-Klasse 3 vor Exkavation



Abb. 7: Kariöse Läsion der ICDAS-Klasse 6 vor Exkavation

Die Extraktionsindikation wurde unabhängig von der vorliegenden Studie durch nicht beteiligte Ärzte und Zahnärzte gestellt und durchgeführt. Gesammelt und gelagert wurden die Zähne in einer 0,9%igen isotonischen Kochsalzlösung mit einem 0,001 Gew.-% Natriumazid-Zusatz. Die Studie wurde unter Beachtung erklärter ethischer Prinzipien (niedergelegt in der World Medical Association Declaration of Helsinki, Version VI, 2002) durchgeführt. Die Patienten wurden informiert, dass ihre Zähne im Rahmen eines Studienprojektes verwendet werden.

4.2.2 Vorbereitung der Versuchszähne

Alle Zähne wurden zu Beginn der Studie gründlich von Gewebsresten und Konkrementen gereinigt. Dazu wurde ein grünes Winkelstück (INTRAmatic Lux 3, Kavo, Biberbach an der Riß, Deutschland) mit rotierenden Bürstchen (Occlubrush, Kerr Hawe, Bioggio, Schweiz) verwendet.

Anschließend wurden die Zähne entsprechend des Ausmaßes ihrer Karies den ICDAS-Klassen 3 und 6 zugeordnet, so dass sich zwei unterschiedliche Gruppen ergaben, die jeweils 22 Zähne enthielten. Sowohl die Zähne der ICDAS 3, als auch die Zähne der ICDAS 6 Gruppe, wurden nun nach dem Zufallsprinzip gleichmäßig auf zwei weitere Gruppen verteilt: eine Gruppe, in der die Karies auf konventionelle Art exkaviert, d.h. der Endpunkt der Exkavation manuell mit der zahnärztlichen Sonde bestimmt wurde und eine Gruppe, in der alleinig Fluoreszenz-unterstützt exkaviert wurde.

So ergaben sich insgesamt 4 Untersuchungsgruppen, die jeweils 11 Zähne enthielten (Abb. 8).

ICDAS 3		ICDAS 6	
konventionell	FACE	konventionell	FACE
Zahn 3.3	Zahn 3.5	Zahn 2.6.1	Zahn 2.6.2
Zahn 2.3.1	Zahn 2.3.11	Zahn 2.6.11	Zahn 2.6.3
Zahn 2.3.10	Zahn 2.3.2	Zahn 2.6.12	Zahn 2.6.4
Zahn 2.3.12	Zahn 2.3.3	Zahn 2.6.20	Zahn 2.6.5
Zahn 2.3.13	Zahn 2.3.4	Zahn 2.6.8	Zahn 2.6.6
Zahn 2.3.8	Zahn 2.3.5	Zahn 2.6.9	Zahn 2.6.7
Zahn 3.10	Zahn 2.3.9	Zahn 6.1	Zahn 6.12
Zahn 3.12	Zahn 3.11	Zahn 6.11	Zahn 6.17
Zahn 3.13	Zahn 3.6	Zahn 6.18	Zahn 6.20
Zahn 3.4	Zahn 3.7	Zahn 6.19	Zahn 6.7
Zahn 3.8	Zahn 3.9	Zahn 6.6	Zahn 6.9

Abb. 8 : Codierung der Versuchszähne

Darüber hinaus wurden zwei Vergleichszähne herangezogen: ein Zahn ohne jegliche pathologische Veränderung und ein stark kariöser Zahn.

4.2.3 Kariesexkavation

Der Zustand der Zähne wurden vor und nach der Kariesexkavation mit Hilfe einer Fotokamera dokumentiert. Verwendet wurde dazu eine Digitalkamera der Firma Canon (Modell EOS 5500, Canon Europe Ltd, Uxbridge, United Kingdom) in Kombination mit einem Makroobjektiv. Zur Fotodokumentation der Fluoreszenzerscheinungen kam ein passender Filter (Danubia, Japan) zum Einsatz.

Bei den Zähnen beider Gruppen wurde die Karies mit einem Rosenbohrer in vitro exkaviert. Bei den Zähnen der einen Gruppe wurde der Endpunkt der Kariesexkavation konventionell mit einer zahnärztlichen Sonde bestimmt, bei der anderen Gruppe wurde dazu das Sirolnspect-System hinzugezogen. Die Wellenlänge des verwendeten Fluoreszenz-Systems betrug dabei 405 nm und wurde unter Verwendung eines 580 nm Hochpassfilters betrachtet.

Die Zähne wurden entsprechend ihrer zugeordneten Gruppe bearbeitet. In allen Fällen erfolgte die Kariesexkavation mit einem grünen Winkelstück (INTRAmatic Lux 3, Kavo) und Rosenbohrern (ISO 14, Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo). Für jeden Zahn wurde, auf Grund etwaiger Abnutzungserscheinungen, ein neuer Rosenbohrer verwendet. Bei den Zähnen, die den konventionellen Gruppen zugehörig waren, wurde der Endpunkt der Kariesexkavation optisch und mit Hilfe einer zahnärztlichen Sonde festgestellt. War durch Sondentest kein erweichter Dentinbereich in der durch die Exkavation entstandenen Kavität mehr festzustellen, war die Kariesexkavation beendet.

Bei den Zähnen aus der FACE Gruppe wurde während der Exkavation das SirolInspect-System (Sirona, Bensheim) hinzugezogen. Die Sonde erzeugt violettes Licht der Anregungswellenlänge von 405 nm, wodurch bestimmte Abbauprodukte von Bakterien (Porphyrine) als auch gesundes Dentin zur Fluoreszenz angeregt werden. Vom Anwender durch einen 580 nm Hochpassfilter in Form einer Brille betrachtet, erscheint gesundes Dentin grün, kariösen Zahnhartsubstanz rot. Endpunkt der Kariesexkavation war somit der Zustand keiner optisch erkennbaren roten Fluoreszenzerscheinungen.

Bei allen Zähnen wurde darüber hinaus die Zeit von Beginn bis Ende des Exkavationsvorganges gemessen und notiert.

4.2.4 Vorbereitung der Zähne für die Härtemessung des Dentins

Nach erfolgter vollständiger Kariesexkavation sollten die Zähne nun für die Härtemessung des Dentins mit dem Kleinhärteprüfgerät vorbereitet werden. Dafür wurde jeder Zahn so halbiert, dass die Trennlinie genau durch die Mitte der Kavität verlief. Getrennt wurden die Zähne mittels eines Trennschleifsystems (EXAKT Apparatebau, Norderstedt), dessen Trenneinheit nach dem Prinzip einer Bandsäge aufgebaut ist. Unter Wasserkühlung ließen sich die Zähne so präzise teilen. Randomisiert wurde eine der beiden Hälften nun, eingebettet in thermoplastische Masse (KerrHawe SA, Bioggio, Schweiz),

auf einen Objektträger aufgebracht. Dabei wurden die Zahnfragmente parallel zum Objektträger ausgerichtet (Abb. 9).



Abb. 9: Zahnfragmente auf dem Objektträger

4.3 Versuchsdurchführung

4.3.1 Kleinhärtemessung

Die nun fertigen Präparate wurden im Anschluss einer Härtemessung unterzogen. Dabei wurde mit Hilfe des Kleinhärteprüfgeräts Durimet (Leitz, Wetzlar) die Vickershärte des Dentins bestimmt.

Der Kleinhärteprüfer besteht aus einem Stativ, einem Mikroskoptubus mit Feinmessokular, der Härteprüfeinrichtung mit Objektiven und Diamanthalter und einem Messtisch (Abb. 10).



Abb. 10: Kleinhärteprüfer Durimet der Firma Leiz (Polyklinik für Parodontologie und Zahnerhaltung München, 2015)

Das Prinzip der Härtemessung sieht dabei wie folgt aus:

Ein kleiner Diamant hinterlässt, beschwert durch ein Gewicht, eine Impression in dem zu untersuchenden Objekt. Das Ausmaß der Impression kann anschließend unter dem Mikroskop vermessen werden. Je härter das Objekt, desto geringer und damit kleiner die Impression. Je weicher das Objekt, desto größer ist demnach der erzeugte Eindruck.

Die fertigen Präparate wurden nacheinander, mit Hilfe der dafür vorgesehenen Vorrichtung, auf dem Messtisch befestigt und so unter dem Mikroskop positioniert, das durch den Tubus ein klares Bild des Zahnes zu erkennen war. Dafür wurde eine 10-fache Vergrößerung gewählt, die zusammen mit dem Feinmessokular eine 100-fache Vergrößerung ergibt.

Nun wurde unter dem Mikroskop die präparierte Kavität aufgesucht und, beginnend am Kavitätenrand, die Härtemessung begonnen.

Durch betätigen eines Knopfes wurde der Diamantenablauf ausgelöst, so dass der Diamant in einem festgelegten Zeitraum von 30 Sekunden in das Dentin des zu untersuchenden Zahnes eindrang und einen rautenförmigen Eindruck hinterließ. Beschwert wurde er durch ein Gewicht von 100 p (p=Prüfkraft).

Anschließend wurde das Objektiv eingeschwenkt, und der Eindruck unter dem Mikroskop vermessen. Dazu wurde durch Drehen des Okulars eine Messskala zur Eindrucksdiagonale ausgerichtet (Abb. 11) und sowohl Länge als auch Breite des Eindrucks vermessen und notiert. Mit dem Kleinhärteprüfgerät gelingt das Ausmessen eines Eindrucks mit einer geringen Abweichung von nur 0,2 μm .

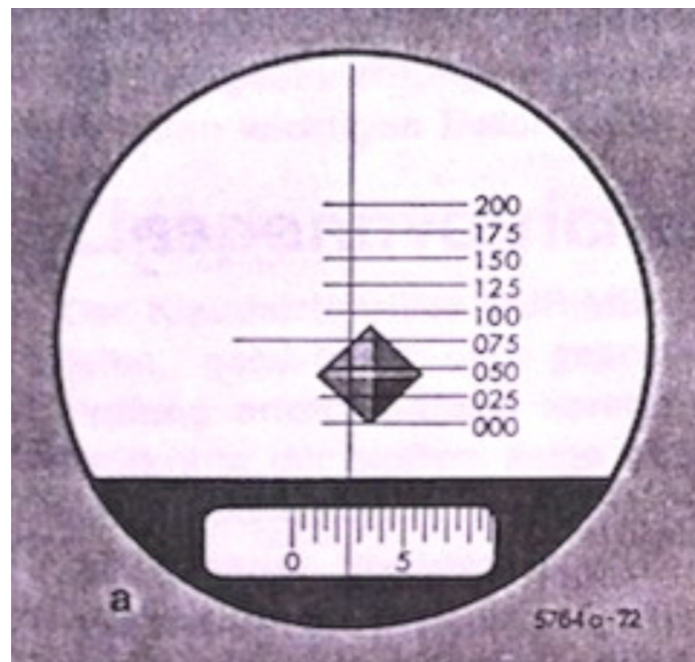


Abb. 11: Schematischer Blick durch das Okular (Benutzerhandbuch Durimet)

Pro Zahnpräparat wurden zwei Messreihen mit jeweils sechs Diamanteindrücken aufgezeichnet. Jede Messreihe begann an dem Kavitärenrand und erstreckte sich über sechs je 120 μm lange Intervalle bis zu einem Gesamtabstand von 630 μm .

Während der gesamten Versuchsdauer wurden die Proben feucht gelagert, um ein Austrocknen des Dentins zu verhindern.

4.4 Statistische Auswertung

Im Anschluss wurden die Werte verglichen. Dazu wurden sowohl der Längens- als auch der Breitendurchmesser einer jeden Raute addiert und durch zwei geteilt um so einen Mittelwert des jeweiligen Rautendurchmessers zu erhalten. Dann wurden Mittelwerte aller Messreihen gebildet, anhand derer die Vickershärte berechnet wurde.

Die Berechnung der Vickershärte HV erfolgte entsprechend der Formel:

$$HV = \frac{1854,4 \cdot P}{d^2}$$

P steht dabei für die Prüfkraft (100p) und d für den Mittelwert der Eindrucksdiagonalen.

Die Daten wurden mit Hilfe von Open Office (Apache Software Foundation, Forest Hill, Maryland) gesammelt und statistisch ausgewertet.

Für die statistische Analyse wurden die Daten auf Normalverteilung untersucht (Shapiro-Wilk) und mit nichtparametrischen Testverfahren (Kruskal-Wallis, Mann-Whitney) unter Verwendung der SPSS®-software (Chicago, USA) ausgewertet. Der Auswertung vorangehend wurde die jeweilige Probengröße pro Testgruppe unter Verwendung der Gpower-Software mit einer Power von mindestens 0,80 und einem Alpha-Fehler von 0,05 berechnet. Für die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde der Wert $\alpha=0,05$ gewählt.

Um die gemessenen Werte darzustellen, wurden Boxplot-Diagramme erstellt. Das Boxplot-Diagramm dient der sogenannten Fünf-Punkte-Zusammenfassung. Das heißt es werden der Median, das 25%- und 75%-Quartil und die beiden Extremwerte dargestellt. Das Rechteck, welches als Box bezeichnet wird, beinhaltet die mittleren 50% der gemessenen Daten. Der Querstrich innerhalb dieser Box ist der Median. Die beiden Antennen, auch Whiskers genannt, markieren mit ihrem Ende den gemessenen Maximal-, bzw. Minimalwert. In der Software SPSS sind sie maximal so lang wie der Interquartilsabstand. Ausreißer, also besonders hohe oder tiefe Werte, bzw. Werte, die nicht

innerhalb des 1,5fachen Interquartilsabstands liegen, werden gesondert als einzelne Punkte bzw. Kreise markiert. Werte außerhalb des 3fachen Interquartilsabstands, also extreme Ausreißer, werden mit einem Stern markiert.

5. Ergebnisse

5.1 Ergebnisse der Zeitmessung

Die Kariesexkavation erfolgte mit Hilfe des SirolInspect im Durchschnitt schneller als auf konventionelle Weise. Die Zeitersparnis war dabei umso höher je größer das Ausmaß der kariösen Läsion war (Abb. 12 und 13). So lag die Zeitdifferenz zwischen konventioneller und Fluoreszenz-unterstützter Kariesexkavation bei ICDAS 3 Läsionen nach Betrachtung der Mittelwerte bei durchschnittlich 1,38 Minuten. Bei größeren Defekten der Gruppe ICDAS 6 hingegen, lag die Zeitersparnis bei Anwendung des SirolInspect schon bei 2,39 Minuten.

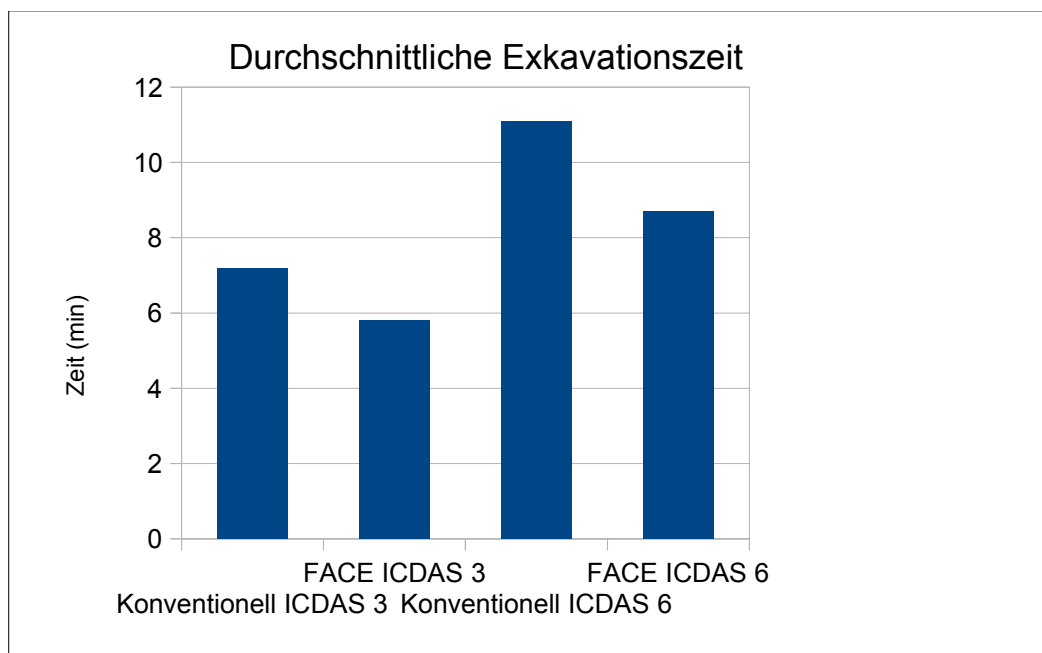


Abb. 12: durchschnittliche Exkavationszeiten (Mittelwerte, jeweils n=11)

Abb. 13 zeigt die Verteilung der Exkavationszeiten in den einzelnen Testgruppen. In den Gruppen Konventionell 3 und FACE 3 lagen die Medianwerte bei 6. In der Gruppe Konventionell 3 erstreckte sich das Quartil von 4,74 bis 9,62 Minuten, in der FACE 3 Gruppe von 3,81 bis 7,83 Minuten.

Die Gruppe Konventionell 6 hatte einen Median von 12 und das Quartil erstreckte sich von 7,89 bis 14,29 Minuten. Bei der FACE 6 Gruppe betrug der Median 10 Minuten, das Quartil erstreckte sich von 7,38 Minuten bis 10,07.

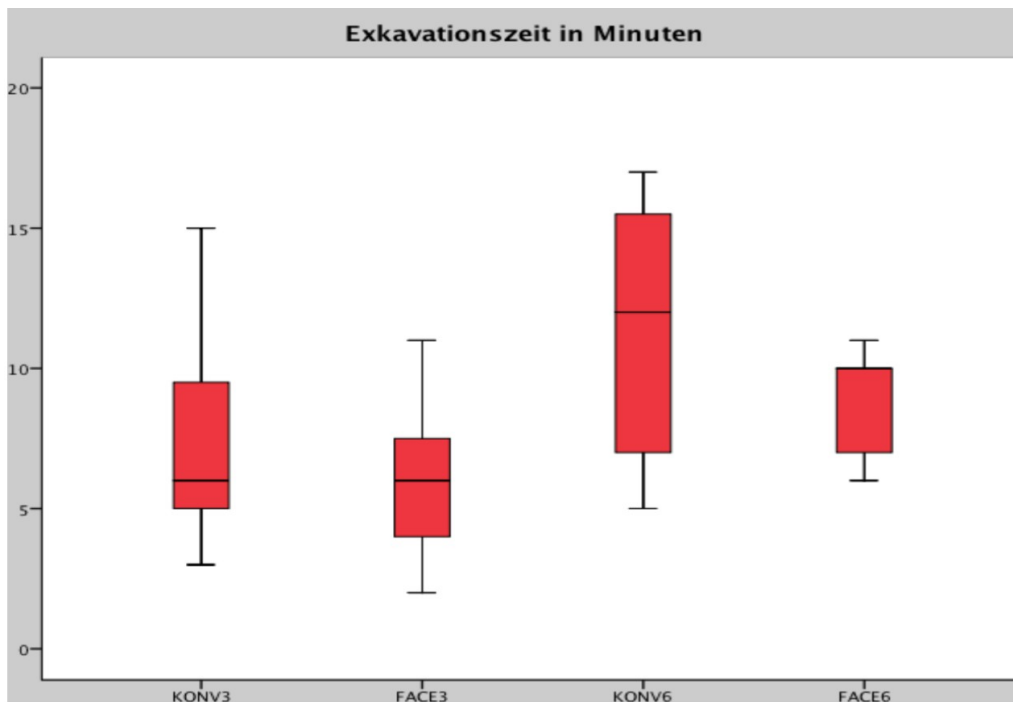


Abb. 13: Boxplotdiagramm der Exkavationszeiten im Vergleich (n=11 je Testgruppe)

5.2 Ergebnisse der Härtemessung

Fluoreszenz-unterstützt exkavierte Läsionen zeigten eine geringere Kavitätenrandhärte als konventionell bearbeitete Zähne.

Bei den ICDAS 3 Gruppen zeigte sich am Abstandsintervall 1, direkt am Kavitätenrand, eine deutliche Differenz der Vickershärten. Das Dentin der konventionell exkavierten Zähne war im Kavitätenrandbereich durchschnittlich etwa doppelt so hart wie das der FACE-Zähne, während sich die Kurven der Vickershärte im weiteren Verlauf fast vollständig einander annäherten (Abb. 14).

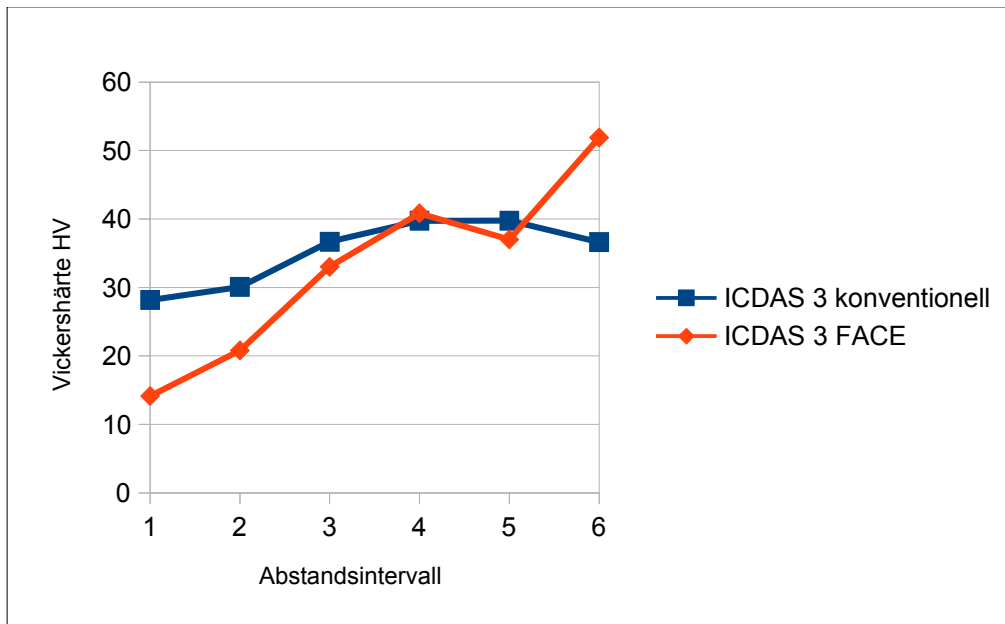


Abb. 14: Vergleich der Dentinhärten der ICDAS 3 Gruppen (Mittelwerte, n=11)

Bei den Zähnen der ICDAS 6 Zähne war der Unterschied noch deutlicher. Am Abstandsintervall 1 wiesen die konventionell bearbeiteten Zähne ein durchschnittlich dreimal härteres Dentin auf als die FACE-Zähne. Hier näherten sich die Kurven, im Vergleich zu den Zähnen der ICDAS 3 Gruppen, über die Gesamtheit der sechs Abstandsintervalle jedoch weitaus weniger aneinander an (Abb. 15)

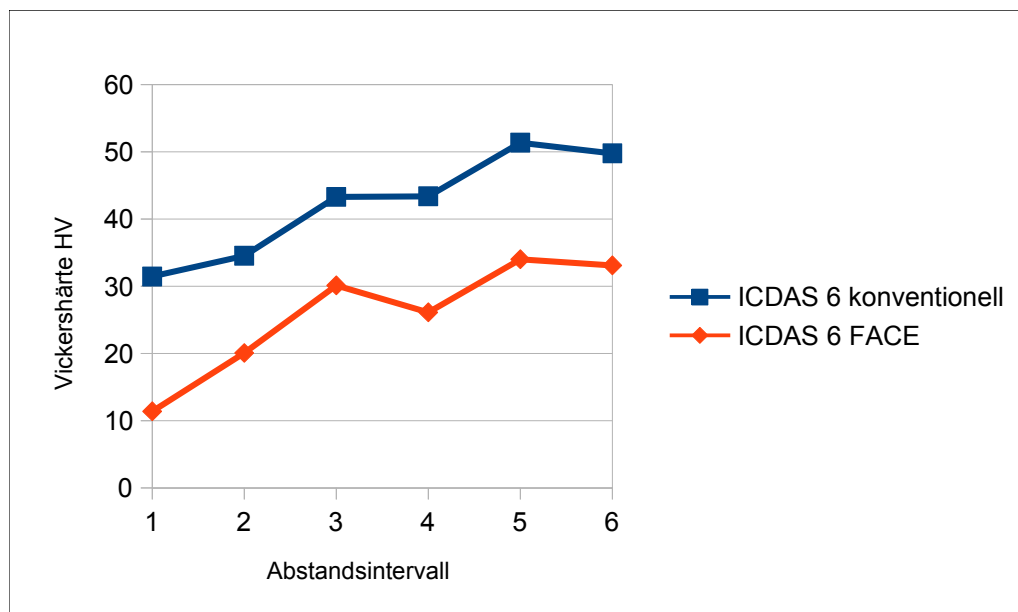


Abb. 15: Vergleich der Dentinhärten der ICDAS 6 Gruppen (Mittelwerte, n=11)

Beim Vergleich der FACE- und der Konventionellen-Gruppen untereinander lies sich ein annähernd ähnlicher Kurvenverlauf feststellen – insbesondere im Kavitätenrandbereich (Abb. 16 und 17).

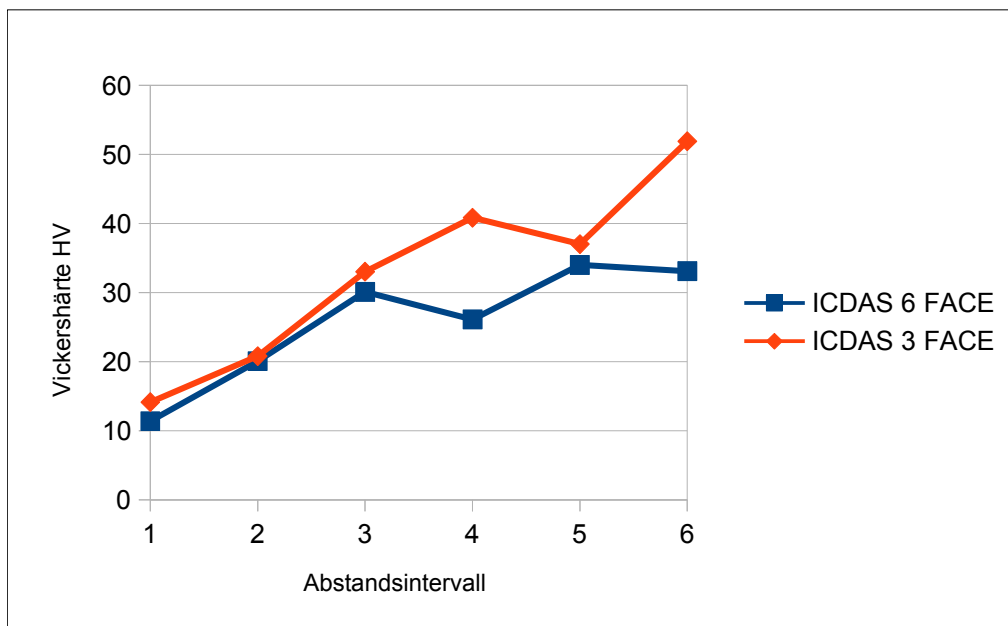


Abb. 16: Vergleich der FACE-Gruppen untereinander (Mittelwerte, n=11)

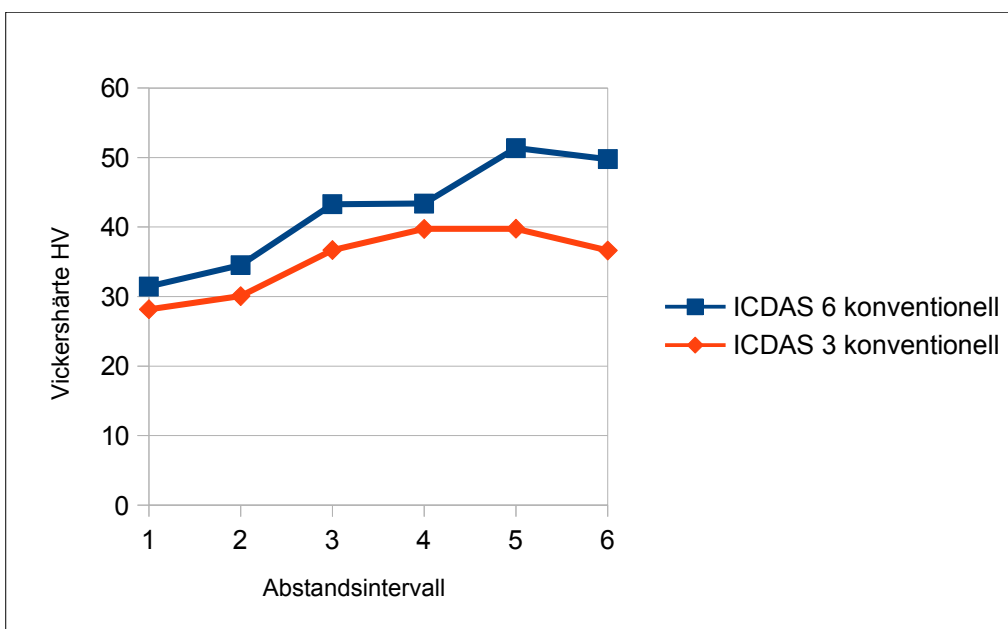


Abb. 17: Vergleich der konventionellen Gruppen (Mittelwerte, n=11)

Zum Vergleich wurde die Vickershärte des Dentins eines kariösen Zahnes und

eines gesunden Zahnes bestimmt. Die Mikrohärtemessung wurde bei dem gesunden Zahn direkt an der Schmelz-Dentin-Grenze begonnen und Richtung Pulpa weitergeführt. Bei dem kariösen Zahn wurde die Messung in der Zone der Nekrose begonnen und ebenfalls Richtung Pulpa weitergeführt (Abb. 18)

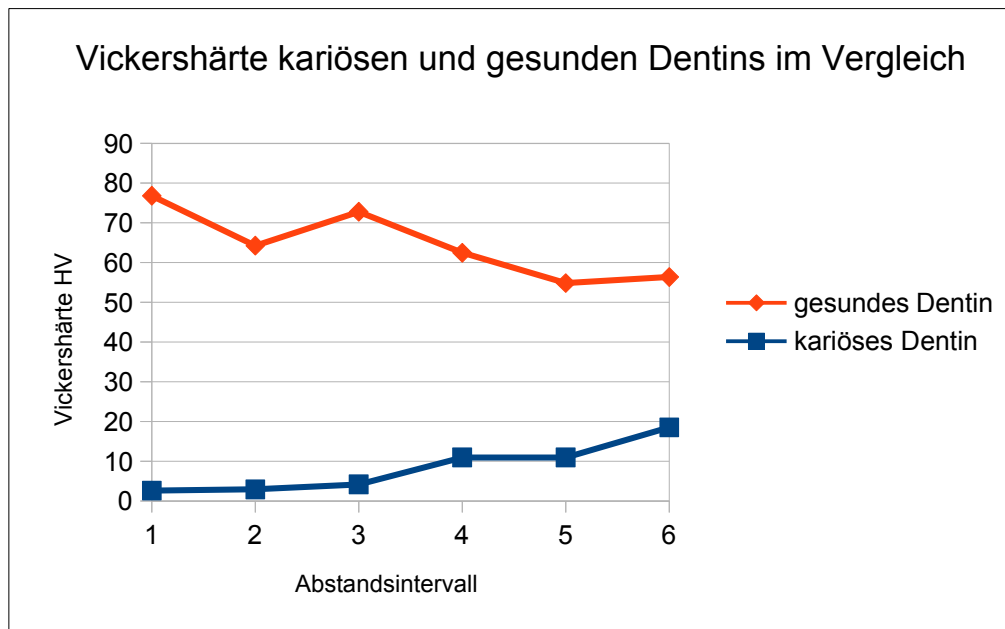


Abb. 18: Vickershärte kariösen und gesunden Dentins im Vergleich am Beispiel je eines Probezahnes (Mittelwerte, n=1)

Der Vergleich der Medianwerte zeigte nur am Abstandsintervall 1, also in unmittelbarer Nähe zum Kavitätenrand, einen deutlichen Unterschied zwischen der konventionellen und der Fluoreszenz-unterstützten Gruppe. Während die Medianwerte und Quartile der Messergebnisse hier deutlich voneinander abwichen, näherten sie sich im weiteren Verlauf der Messreihen einander an. So waren die Medianwerte und Quartilverteilungen aller Testgruppen am Abstandsintervall 6 annähernd gleich (Abb. 19-24).

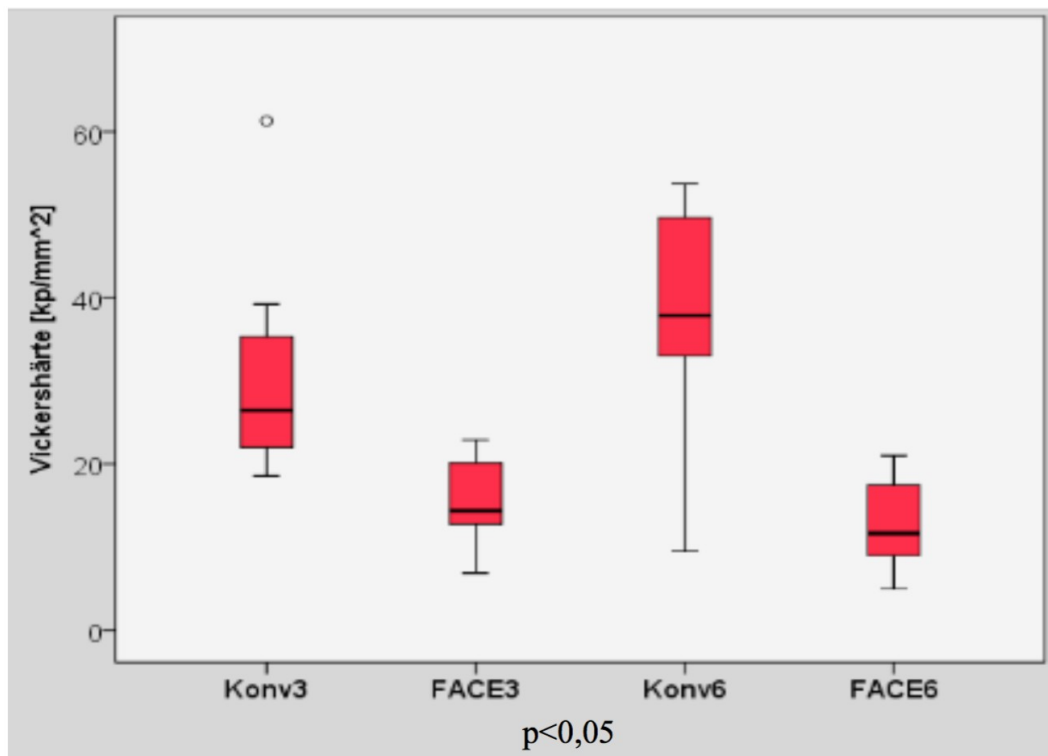


Abb. 19: Boxplotdiagramm Abstandsintervall 1: Vergleich aller vier Testgruppen untereinander (n=11).

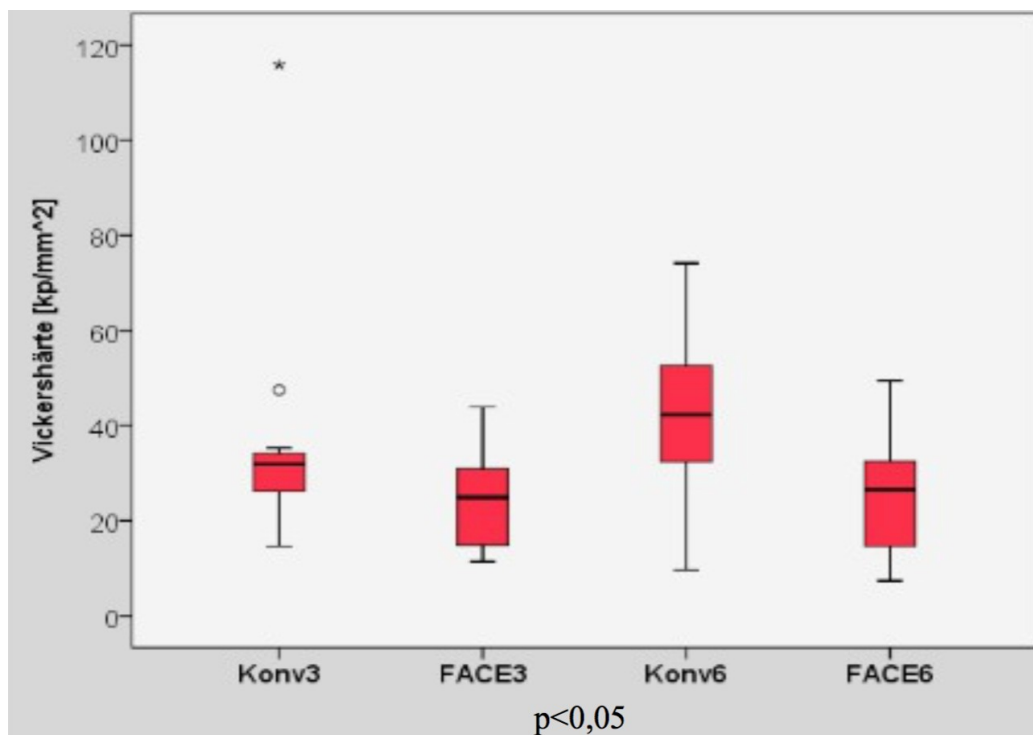


Abb. 20: Boxplotdiagramm Abstandsintervall 2: Vergleich aller vier Testgruppen untereinander (n=11).

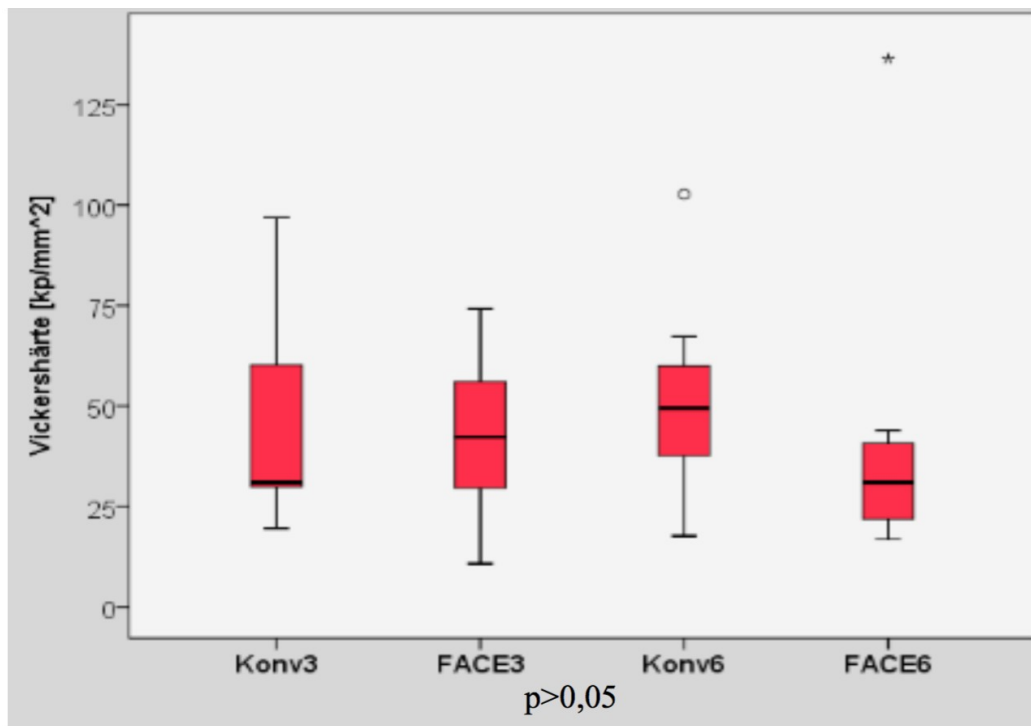


Abb. 21: Boxplotdiagramm Abstandsintervall 3: Vergleich aller vier Testgruppen untereinander (n=11).

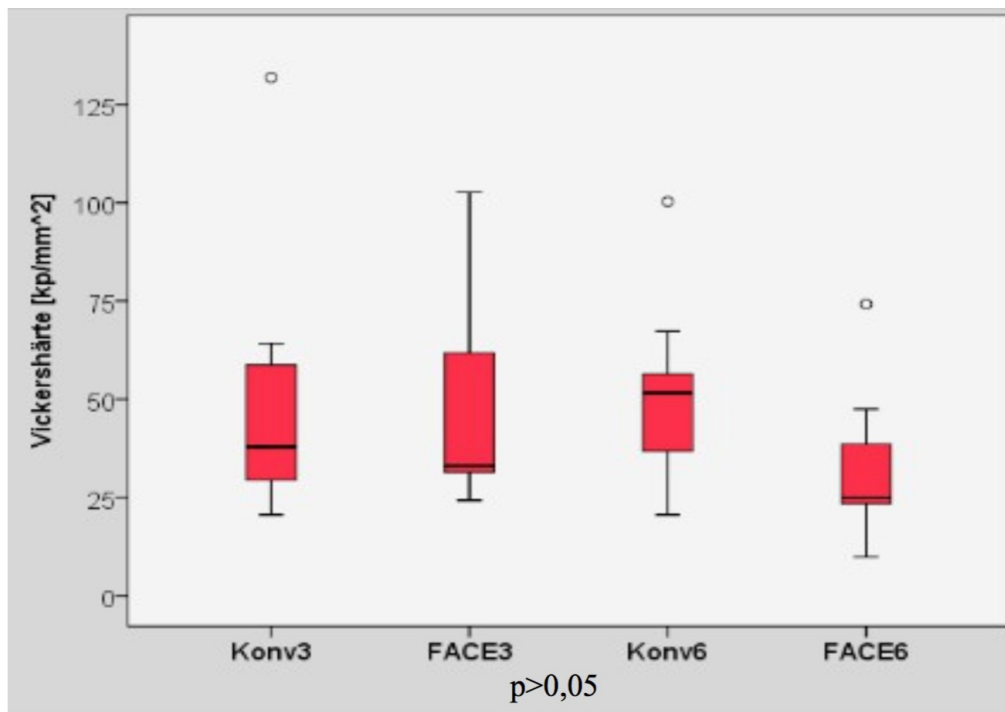


Abb. 22: Boxplotdiagramm Abstandsintervall 4: Vergleich aller vier Testgruppen untereinander (n=11).

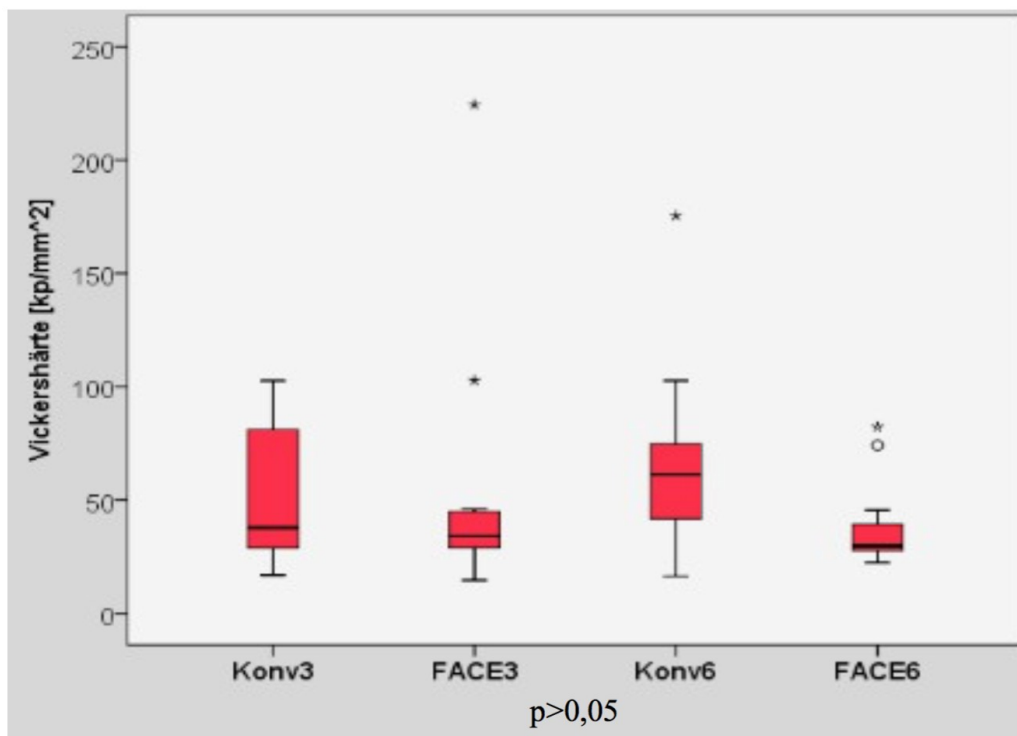


Abb. 23: Boxplotdiagramm Abstandsintervall 5: Vergleich aller vier Testgruppen untereinander (n=11).

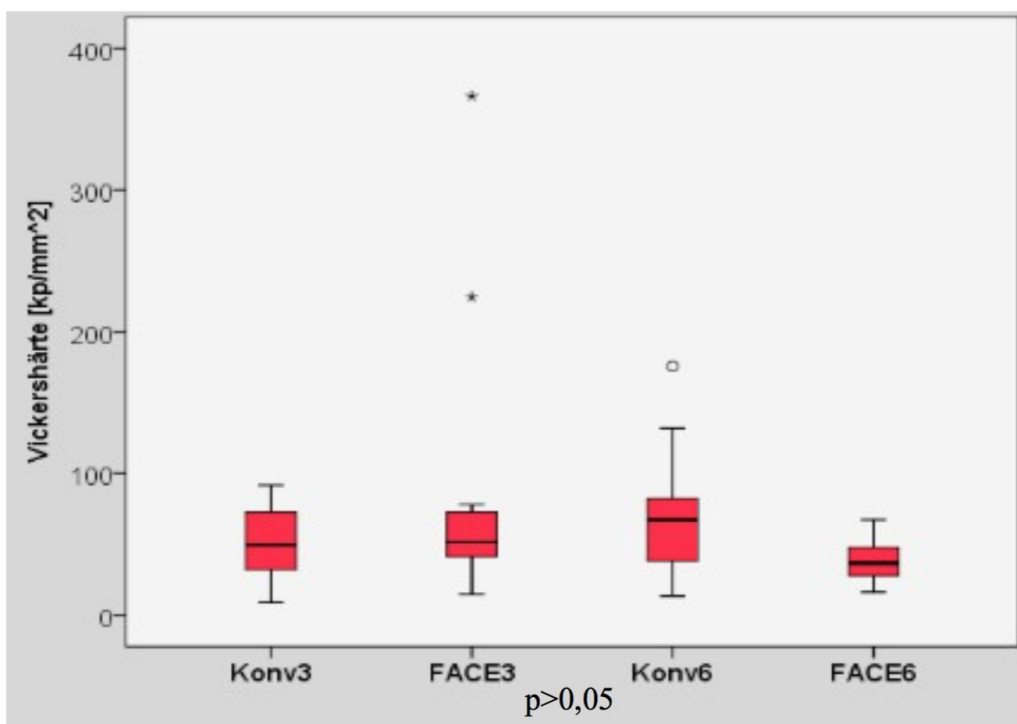


Abb. 24: Boxplotdiagramm Abstandsintervall 6: Vergleich aller vier Testgruppen untereinander (n=11).

In der nichtparametrischen Analyse nach Kruskal-Wallis und Mann-Whitney zeigte sich ein Unterschied zwischen den Zähnen der FACE und der konventionellen Gruppen.

Der Kruskal-Wallis Test zeigte einen hoch signifikanten Unterschied der Vickershärte der vier Testgruppen am Abstandsintervall 1. Ebenso war am Abstandsintervall 2 noch ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) festzustellen. Die Zahnhartsubstanzhärten der Intervalle 3 bis 6 zeigten keinen signifikanten Unterschied mehr ($p > 0,05$) (Tab. 1).

	Abstandsinter- vall 1	Abstandsinter- vall 2	Abstandsinter- vall 3	Abstandsinter- vall 4	Abstandsinter- vall 5	Abstandsinter- vall 6
Chi-Quadrat	24,068	8,566	3,462	4,941	4,240	4,062
df	3	3	3	3	3	3
Asymptotische Signifikanz	,000	,036	,326	,176	,237	,255

Tab. 1: nichtparametrische Analyse der vier Testgruppen (n=11) nach Kruskal

Im Vergleich der einzelnen Testgruppen untereinander war nur bei Gegenüberstellung der Laserfluoreszenz-unterstützt und konventionell exkavierten Zähnen ein signifikanter Unterschied der Dentinhärte am Kavitätenrand festzustellen. Bei dem Vergleich der FACE Gruppen untereinander zeigte sich kein signifikanter Unterschied, genau so wenig wie bei dem Vergleich der konventionellen Gruppen. Die nichtparametrische Analyse erfolgte hierbei nach Mann-Whitney, wobei nur die Abstandsintervalle 1 und 2 für die Auswertung herangezogen wurden, da die anderen Messintervalle keinen signifikanten Unterschied zeigten (siehe Kruskal-Test).

Der Vergleich der Gruppen Konventionell 3 und FACE 3 zeigte am Abstandsintervall 1 signifikante Unterschiede. Am Abstandsintervall 2 war kein signifikanter Unterschied festzustellen (Tab. 2).

	Abstands- intervall 1	Abstands- intervall 2
Mann-Whitney-U	10,000	35,500
Wilcoxon-W	76,000	101,500
Z	-3,320	-1,644
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,001	,100
Exakte Signifikanz [2*(1- seitig Sig.)]	,000 ^b	,101 ^b

Tab. 2: Mann-Whitney Test: Vergleich Konventionell 3 mit FACE 3

Auch bei Gegenüberstellung der Gruppen Konventionell 3 und FACE 6 war am Abstandsintervall 1 ein signifikanter Unterschied der Vickershärten festzustellen, während sich am Abstandsintervall 2 eine größere Abweichung der Härtewerte zeigte ($p > 0,05$) (Tab. 3).

	Abstands- intervall 1	Abstands- intervall 2
Mann-Whitney-U	2,500	42,500
Wilcoxon-W	68,500	108,500
Z	-3,812	-1,183
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,237
Exakte Signifikanz [2*(1- seitig Sig.)]	,000 ^b	,243 ^b

Tab. 3: Mann-Whitney-Test: Vergleich Konventionell 3 und FACE 6

Ebenso zeigte sich im Vergleich der Gruppe Konventionell 6 mit den beiden FACE Gruppen eine deutliche Signifikanz der Testergebnisse von $p < 0,05$ (Tab. 4 und 5).

	Abstands- intervall 1	Abstands- intervall 2
Mann-Whitney-U	13,500	24,000
Wilcoxon-W	79,500	90,000
Z	-3,089	-2,398
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,002	,016
Exakte Signifikanz [2*(1- seitig Sig.)]	,001 ^b	,016 ^b

Tab. 4: Mann-Whitney Test: Vergleich Konventionell 6 und FACE 3

	Abstands- intervall 1	Abstands- intervall 2
Mann-Whitney-U	10,500	26,000
Wilcoxon-W	76,500	92,000
Z	-3,286	-2,265
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,001	,023
Exakte Signifikanz [2*(1- seitig Sig.)]	,000 ^b	,023 ^b

Tab 5: Mann-Whitney Test: Vergleich Konventionell 6 und FACE 6

Die Gegenüberstellung der konventionellen Gruppen zeigte keinen signifikanten Unterschied der Vickershärten (Tab. 6), genau so wenig wie der Vergleich der FACE Gruppen untereinander ($p > 0,05$) (Tab. 7).

	Abstands- intervall 1	Abstands- intervall 2
Mann-Whitney-U	43,000	39,500
Wilcoxon-W	109,000	105,500
Z	-1,151	-1,381
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,250	,167
Exakte Signifikanz [2*(1- seitig Sig.)]	,270 ^b	,171 ^b

Tab. 6: Mann-Whitney Test: Vergleich der Gruppen konventionell 3 und 6

	Abstands- intervall 1	Abstands- intervall 2
Mann-Whitney-U	42,000	58,500
Wilcoxon-W	108,000	124,500
Z	-1,216	-,131
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,224	,895
Exakte Signifikanz [2*(1- seitig Sig.)]	,243 ^b	,898 ^b

Tab. 7: Mann-Whitney Test: Vergleich der Gruppen FACE 3 und 6

6. Diskussion

6.1 Auswahl der Versuchszähne

Im Rahmen dieser Studie wurden insgesamt 44 humane Zähne in vitro untersucht. Die Wahl fiel auf humanes Material, um die klinische Situation so genau wie möglich wiedergeben zu können.

Die extrahierten Zähne stammten randomisiert von Patienten verschiedenen Alters, weshalb altersbedingte Veränderungserscheinungen des Zahnes, sowie Tertiärdentinbildung oder eine Sklerosierung des Dentins nicht ausgeschlossen werden können. Menschliche Zähne weisen außerdem zum Teil einen natürlichen Unterschied in der Dentinhärte auf (Hülsmann et al. 2005). Zudem wurde primär nach kariös veränderten Zähnen gesucht, wobei sowohl Zähne mit Primärkaries als auch Sekundärkaries akzeptiert wurden. Da Sekundärkaries immer auch das Vorhandensein eines dentalen Restaurationsmaterials voraussetzt, wurden auch Zähne mit vorhandenen Füllungen akzeptiert. Auch hier kann eine Beeinflussung der Zahnhartsubstanzhärte durch vorhandenes Füllungsmaterial nicht ausgeschlossen werden. Durch die Zufallsverteilung in insgesamt vier verschiedene Gruppen kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die oben genannten Faktoren synergistisch einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Versuchsergebnisse hatten.

Gesammelt und gelagert wurden die Zähne in Kochsalzlösung mit einem 0,001%igem Natriumazid-Zusatz, was den Zweck erfüllen sollte, ein Austrocknen des Zahnes zu verhindern. Da eine Lagerungszeit von teils mehreren Wochen nicht zu umgehen war, ist es möglich, dass einige der Porphyrine, die für die Fluoreszenzerscheinung verantwortlich sind, durch die Lösung aus dem Versuchszahn herausgewaschen wurden.

Die 44 Zähne wurden aus einem großen Pool an humanen Zähnen ausgewählt. Zu Beginn der Versuchsreihe befanden sich noch mehr Zähne in den Versuchsgruppen. Ein Teil der Präparate musste jedoch verworfen werden, da sie sich im Laufe der Bearbeitung als nicht für die Studie geeignet

herausstellten. Dadurch erklären sich auch die Lücken in der festgelegten Codierung der Zähne. So waren einige der Zähne wesentlich stärker zerstört als anfänglich gedacht, so dass eine Härtemessung des verbliebenen Dentins nicht mehr durchführbar war. Bei anderen Zähnen war nach der Trennung mittels Trennschleifsystem zu wenig von der Kavität übrig.

6.2 Kariesexkavation

Vor der Kariesexkavation wurden die Zähne gründlich gesäubert. Terror et al. stellten 2009 einen Zusammenhang zwischen einer roten Fluoreszenzerscheinung und organischen Ablagerungen auf dem Zahn fest, weshalb er empfiehlt, den Zahn vor der Betrachtung der Fluoreszenzerscheinungen mit Natriumbicarbonat oder grober Polierpaste zu reinigen (Terror et al. 2009).

Die Kariesexkavation erfolgte unter standardisierten Bedingungen. Dabei wurde streng darauf geachtet, dass für jeden neuen Versuchszahn ein neuer Rosenbohrer zum Einsatz kam, um eventuellen Abnutzungserscheinungen des Bohrermaterials entgegenzuwirken. Zu Beginn der Kariesexkavation wurde die Zeit registriert, wodurch die Dauer des Exkavationsvorganges festgehalten werden konnte. Die registrierte Zeit wurde dabei auf volle Minuten gerundet. Der Endpunkt der Kariesexkavation wurde in zwei der vier Versuchsgruppen mittels des SirolInspect- Gerätes bestimmt, in den anderen zwei Gruppen wurde dafür eine zahnärztliche Sonde zur taktilen Bestimmung der Dentinhärte herangezogen. Die Sonde wurde vor jedem neuen Versuchszahn gründlich mit Terralin desinfiziert. So konnte ausgeschlossen werden, dass Kariesbakterien und somit ggf. Porphyrine von einem Versuchszahn auf den anderen übertragen wurden.

Während der Fluoreszenz-unterstützten Kariesexkavation wurden die Zähne durch einen 580 nm Hochpassfilter betrachtet. Dieser macht die

Fluoreszenzerscheinung für das menschliche Auge in der Form sichtbar, dass kariöses Dentin rot, gesundes grün fluoresziert. Bei einigen der Zähne zeigte sich jedoch ausschließlich eine rote Fluoreszenz, was mit der teils längeren Lagerung der Zähne zusammenhängen könnte. Es ist dennoch davon auszugehen, dass das Versuchsergebnis davon nicht beeinflusst wurde, da bei jedem Zahn exkaviert wurde, bis keine rote Fluoreszenz mehr zu erkennen war.

6.3 Vorbereitung der Zähne für die Härtemessung

Als Vorbereitung für die Härtemessung der Zahnhartsubstanz mit dem Kleinhärteprüfgerät wurden die Zähne mit einem Trennschleifsystem halbiert. Dabei wurde versucht, den Schnitt möglichst durch die Mitte der Kavität verlaufen zu lassen. War das restliche Zahnfragment zu klein, um es auf einen Objektträger aufzubringen, wurde es verworfen.

Das Zahnfragment wurde sonst, eingebettet in einer thermoplastischen Masse, auf einen Objektträger aufgebracht. Damit die Härtemessung fehlerfrei stattfinden konnte, musste die Zahnoberfläche dazu parallel zum Objektträger auf diesem aufgebracht werden. Abweichungen hätten zur Folge haben können, dass der Diamant der Kleinhärteprüfgerätes auf einer schrägen Fläche auftrifft und die Messung somit verfälscht ist. Um dieses Risiko so gering wie möglich zu halten, wurde sich eines speziellen Gerätes bedient, in Form einer kleinen Presse, das die Zahnfragmente parallel zum Objektträger auf diesem ausrichtete. Geringfügige Abweichungen sind dennoch nicht auszuschließen.

6.4 Kleinhärtemessung

Bei der Härtemessung wurde mit Hilfe des Kleinhärteprüfgeräts der Firma

Durimet die Vickershärte des Dentins bestimmt. Jede Messreihe begann dabei am Kavitätenrand und wurde in die Peripherie über einen Gesamtabstand von 630 µm vorgenommen, wobei jeweils sechs Diamanteindrücke erzeugt wurden. Der Abstand bis zum jeweils nächsten Eindruck konnte mit Hilfe der im Messgerät integrierten Messskala genau nachvollzogen werden. Die Lage einer jeden Messreihe wurde dabei zufällig ausgewählt.

Der Diamant wurde zur Erzeugung des Eindruckes auf der Zahnoberfläche für eine Zeit von 30 Sekunden durch ein, für alle Zähne gleiches, Gewicht beschwert, das von Hand ausgelöst werden musste. Die Zeit wurde dabei mit einer Stoppuhr gestoppt. Geringfügige Abweichungen sind daher möglich.

Die erzeugten Eindrücke wurden dann durch das Okular betrachtet, und sowohl in Breite als auch Länge vermessen. Die Messung erfolgte dabei optisch.

6.5 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen deutliche Unterschiede der Dentinhärte, vergleicht man die konventionell bearbeiteten und die FACE-Zähne.

Dass die Dentinhärte mit dem Mineralisationsgrad der Zahnhartsubstanz korreliert, wurde schon vielfach in Studien beschrieben (Featherstone et al. 1983).

Als erstes beschrieb Knoop et al. 1939 diesen Zusammenhang, später auch andere Autoren (Rautiola und Craig et al. 1961; Fusuyama et al. 1966; Meredith et al. 1996). Sie alle kamen zu ähnlichen Ergebnissen: Die Härte des Dentins eines Zahnes weist unterschiedliche Werte auf, wobei das Dentin an der Schmelz-Dentin Grenze die höchsten Werte aufweist und in der Nähe der Pulpa die niedrigsten. Dies steht im Zusammenhang mit der Dichte der Dentinkanälchen, die an der Schmelz-Dentin-Grenze am geringsten, in der Nähe der Pulpa am größten ist. Die Kanälchendichte nimmt von etwa

45.000/mm² an der Pulpa-Dentin-Grenze auf nur noch 15.000/mm² an der Schmelz-Dentin-Grenze ab (Hellwig et al. 1999).

Die größte Härte ist mit 70 KHN etwa 300-450 µm unterhalb des Zahnschmelzes zu finden und nimmt Richtung Pulpa kontinuierlich ab. Nahe der Pulpa beträgt die Härte nur noch 20-30 KHN (Fusayama et al., 1966, Craig et al., 1959, Meredith et al. 1996).

Bei kariös infiziertem Dentin sind andere Werte zu messen. 1966 registrierten Fusayama et al. eine Dentinhärte von 4,4 KHN an der bakteriellen Penetrationsfront einer akut schnell voranschreitenden Karies. An der Grenzlinie der makroskopischen Verfärbung wurden Werte von 17 KHN festgestellt. Bei einer chronischen Karies hingegen wurden Werte von 61 KHN an der Penetrationsfront und 68 KHN an der Grenzlinie der Verfärbung gemessen.

Ogawa et al. untersuchte 1983 die Dentinhärte chronischer kariöser Läsionen und fertigte gleichzeitig histologische Schnitte an. Er stellte dabei fest, dass die größte Dentinhärte chronischer kariöser Läsionen am Übergang von normalem Dentin zur subtransparenten Schicht zu finden ist. Diese Untersuchungsergebnisse deckten sich mit den Ergebnissen von Fusayama et al. (1966), und wurden durch spätere Untersuchungen von Banerjee et al. (1999) bestätigt.

In der vorliegenden Studie wiesen die Fluoreszenz-unterstützt exkavierten Zähne eine signifikant geringere Vickershärte des Dentins im Kavitätenrandbereich auf als die konventionell bearbeiteten Präparate. Bei beiden Gruppen ist jedoch eine generelle Zunahme der Dentinhärte vom Kavitätenrandbereich in die Peripherie zu erkennen.

Am Abstandsintervall 1, also der am nächsten an der präparierten Kavität gelegenen Prüfstelle, war das Dentin der FACE Zähne sowohl in der ICDAS 3 als auch in der ICDAS 6 Gruppe, etwa halb so hart wie bei den konventionell bearbeiteten Zähnen. Bei den Zähnen der ICDAS 3 Klasse näherten sich die Dentinhärten im Verlauf der Messreihe fast vollständig aneinander an. Innerhalb der ICDAS 6 Klassen hingegen, war zwar auch eine Annäherung der

Härtekurven zu erkennen, allerdings blieb die Härte der FACE-Zähne auch am Abstandsintervall 6 deutlich geringer als bei den Zähnen der konventionellen Gruppe.

Dieser Umstand könnte darauf beruhen, dass Karies der Klasse ICDAS 6 sehr dicht an die Pulpa heranreicht. Terrorer et al. bemerkte 2010, dass bei tiefen Dentinläsionen, bei denen durch das taktile Ertasten mit einer zahnärztlichen Sonde der Endpunkt der Exkavation bereits festgestellt wurde, sich dennoch rote Fluoreszenzerscheinungen zeigten. Er schloss daraus, dass trotz roter Fluoreszenz zwischen tatsächlich infiziertem Dentin und nur, als Folge einer tiefen Karies, in seiner biologischen Struktur verändertem Dentin unterschieden werden müsse.

Diese Feststellung deckt sich mit den Beobachtungen von Braun (2012), dass sich Fluoreszenzerscheinungen in der Nähe zur Pulpa verändern können. Das Zahnhartgewebe fluoresziert hier braungrau, was unter Umständen mit der roten Fluoreszenz verwechselt werden kann (Braun 2012). Demzufolge ist es also nicht auszuschließen, dass bei den Zähnen der ICDAS 6 Gruppe, die Fluoreszenz-basiert exkaviert wurden, überexkaviert wurde, da ausschließlich mit Hilfe des SirolInspect-Gerätes präpariert wurde, ohne Zuhilfenahme einer zahnärztlichen Sonde. Die Folgende Messreihe befand sich also auch am Abstandsintervall 6 noch im vergleichsweise weichen, pulpanahem Dentin.

Vergleicht man allerdings die Exkavationsgruppen untereinander, so zeigten diese einen fast identischen Kurvenverlauf. Das Dentin der konventionell bearbeiteten Zähne zeigte, sowohl in der ICDAS 3 als auch in der ICDAS 6 Gruppe, am Kavitätenrand eine geringfügig geringere Vickersärte als am Ende der Messreihen. Bei den FACE Zähnen zeigte sich eine deutlichere Zunahme der Dentinhärte vom Kavitätenrand bis in die Peripherie.

Da die Dentinhärte mit dem Mineralisationsgrad der Zahnhartsubstanz korreliert (Featherstone et al. 1983), und die Härte kariös infizierten Dentins deutlich geringer ist als die von gesundem (Fusayama et al. 1966), könnte vermutet werden, dass bei Fluoreszenz-unterstützter Kariesexkavation eine residuale Karies belassen wird. Bei den Zähnen der FACE Gruppe zeigte sich eine deutlich geringere Dentinhärte im Kavitätenrandbereich als bei konventionell

bearbeiteten Zähnen.

Geht man jedoch davon aus, dass die rote Fluoreszenz der kariösen Zahnhartsubstanz ausschließlich durch bakterielle Abbauprodukte erzeugt wird, kann davon ausgegangen werden, dass mit Hilfe des SiroInspect-Gerätes substanzschonend gearbeitet und dennoch jedes infizierte Dentin entfernt werden kann. Dies muss noch weitergehend mikrobiologisch und histologisch untersucht werden.

Vor allem im Vergleich der FACE-Zähne zu dem kariösen Probezahn zeigt sich bei den exkavierten Zähnen auch am direkten Kavitätenrand eine signifikant höhere Dentinhärte als beim kariösen Pendant. Eine Überexkavation wird in solchen Fällen, vor allem bei kleineren Kavitäten, durch die Möglichkeit der optischen Unterscheidung von gesundem und infiziertem Dentin vermieden. Bei pulpanahen kariösen Läsionen besteht die Gefahr der Überexkavation, da pulpanahes gesundes Dentin unter Umständen Fluoreszenzerscheinungen zeigen kann. Hier empfiehlt sich die Zuhilfenahme einer zahnärztlichen Sonde.

Bei der Zeit, die für die Kariesexkavation benötigt wurde, zeigte sich ebenfalls ein deutlicher Unterschied: Bei der konventionellen Kariesexkavation wurde im Durchschnitt mehr Zeit benötigt als bei den FACE Zähnen. Die Zeitersparnis war dabei in der ICDAS 6- größer als in der ICDAS 3-Gruppe. Dies könnte auf der Tatsache beruhen, dass ICDAS 3-Läsionen wesentlich kleiner sind als ICDAS 6-Karies und daher zunächst vorsichtig eine Zugangskavität präpariert werden muss, um möglichst minimalinvasiv zu arbeiten.

6.6 Überprüfung der Arbeitshypothesen

1. Die alleinige fluoreszenzbasierte Kariesdiagnostik ist bei der Kariesexkavation ausreichend

Bei pulpanahen kariösen Läsionen zeigte sich, dass eine zahnärztliche Sonde zur Hilfe genommen werden sollte.

Die Arbeitshypothese wird daher **abgelehnt**.

2. Die Exkavation einer Karies mit Hilfe des Sirolnspect-Gerätes bietet einen zeitlichen Vorteil gegenüber der herkömmlichen manuellen Methode

Im Rahmen der vorliegenden Studie zeigte sich, dass die Nutzung des Sirolnspect-Gerätes einen zeitlichen Vorteil von durchschnittlich etwa zwei Minuten pro Zahn mit sich brachte.

Die Arbeitshypothese wird **angenommen**.

3. Mit Hilfe des Fluoreszenzverfahrens wird minimalinvasiver gearbeitet im Vergleich zur herkömmlichen Methode.

Bei kleineren kariösen Läsionen scheint dies zuzutreffen, bei tiefer, pulpanaher Karies ist es fraglich.

Diese Arbeitshypothese wird **bedingt angenommen**. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um diese Hypothese abschließend zu beurteilen.

7. Klinische Schlussfolgerungen

Die vorliegende Studie zeigte, dass die Fluoreszenz-basierte Kariesexkavation scheinbar eine Überpräparation des Zahnes verhindert. Dabei ist der alleinige Verlass auf die Diagnostik einer Karies durch die Fluoreszenzerscheinungen während der Kariesexkavation bei kleineren Kavitäten eher zu empfehlen als bei pulpanahen Defekten. Hier zeigte sich, dass die Gefahr der Überexkavation besteht, da pulpanahes Dentin selbst Fluoreszenzerscheinungen erzeugen kann, die mit der roten Fluoreszenz kariösen Dentins verwechselt werden können. Dabei bietet die Fluoreszenz-unterstützte Kariesexkavation einen zeitlichen Vorteil, der allerdings noch in der Praxis bestätigt werden muss.

8. Zusammenfassung

Bis zum heutigen Tag ist eine eindeutige Unterscheidung von gesunder und erkrankter Zahnhartsubstanz während der Kariestherapie schwer. Aufgabe der vorliegenden Arbeit war es eines der Verfahren zur Kariesdiagnostik auf seine Zuverlässigkeit zu prüfen: die Fluoreszenzdiagnostik.

Ziel der Studie war es, die konventionelle Methode eine Karies zu behandeln der Fluoreszenz-unterstützten Behandlung gegenüberzustellen.

Zu diesem Zweck wurden insgesamt 44 kariöse menschliche Zähne gesammelt und in vitro die Mikrohärtigkeit des Dentins nach erfolgter Kariesexkavation untersucht. Die Versuchszähne wurden dazu randomisiert in Gruppen unterteilt, von denen die eine Hälfte konventionell und die andere Fluoreszenz-unterstützt behandelt wurde.

Die Karies wurde bei jedem Zahn unter standardisierten Bedingungen exkaviert. Bei den Zähnen der konventionellen Gruppe wurde der Endpunkt der Kariesexkavation durch die Überprüfung des Dentins auf Sondenstärke festgelegt. Bei den Zähnen der Fluoreszenz-unterstützten Gruppe wurde exkaviert, bis keine Fluoreszenz-typisch roten Fluoreszenzerscheinungen mehr erkennbar waren.

Im Anschluss wurden die Zähne inmitten der vorhandenen Kavitäten halbiert und auf Objektträger aufgebracht. Nun konnte eine Härtemessung des Dentins mit einem entsprechenden Härteprüfgerät erfolgen. Jede Messreihe begann am Kavitätenrand und erstreckte sich in Abständen von 120 µm bis zu einem Gesamtabstand von 630 µm in das Dentin. Dabei zeigte sich ein signifikanter Unterschied der konventionell und Laserfluoreszenz-unterstützt behandelten Zähne. Im unmittelbaren Kavitätenrandbereich zeigten die Fluoreszenz-Zähne eine deutlich geringere Dentinhärte als die konventionell behandelten, während sich die Dentinhärten in der Peripherie einander annäherten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Fluoreszenz-unterstützte Kariestherapie eine Überexkavation verhindert. Bei tiefen Läsionen sollte dennoch nicht auf die

Zuhilfenahme einer zahnärztlichen Sonde verzichtet werden, da pulpanahes Dentin eigene Fluoreszenzerscheinungen aufweisen kann. Zudem zeigte sich eine deutliche Zeitersparnis bei der Fluoreszenz-unterstützten Kariesexkavation in vitro, der allerdings noch in der Praxis bestätigt werden muss.

9. Englische Zusammenfassung

Summary:

Even today, it remains a difficult task to differ between healthy and infected hard tooth tissue during caries therapy. The purpose of this study was to test the reliability of one of the many methods of caries diagnosis: the fluorescence of hard tooth tissue. Thus, it was the aim of the study to evaluate the conventional method of caries therapy to the fluorescence-supported treatment of infected hard tooth tissue.

A total number of 44 carious human teeth were tested for their microhardness of dentine after caries excavation. Therefore the teeth were subdivided into randomized groups of which one half was treated conventionally while the treatment of the other half was supported by induced fluorescence. The caries of every single tooth was excavated under standardized circumstances: The terminal point of excavation in the conventional group was defined by testing the quality of the dentine with a dental probe. In the fluorescence-supported group the teeth were treated until there was no red, for infected dentine typical, fluorescence noticeable any more. Subsequently the teeth were cut in half through the middle of the cavity and placed onto an object plate so that the microhardness of the dentine could be evaluated.

Every series of measurement started at the margin of the cavity and continued over a total distance of 630µm, at intervals of 120 µm, into the dentine. The results showed a significant difference between the conventional and the laser-supported group. In the outer margin of the cavity, the dentine of the laser-group teeth was noticeably weaker than the one from the conventional-group whilst the difference got smaller the further the test series proceeded into the circumference of the cavity.

It has to be assumed, based on the evidence of this study, that the support of fluorescence during caries therapy can prevent an excavation of intact hard tooth tissue. However, in the case of a very profound cavity, it is not

recommended to abstain from the usage of a dental probe since the dentine close to the dental pulp can emit fluorescence itself when exposed.

In addition, the fluorescence-supported caries treatment showed, compared to the conventional group, a distinct time saving in vitro, which still has to be affirmed in clinical practice.

10. Literaturverzeichnis

BADER J.D., SHUGARS D.A. (2004) A systematic review of the performance of a laserfluorescence device for detecting caries. J Am Dent Assoc 135: 1413-1426

BANERJEE A., SHERRIFF M., KIDD E., WATSON (1999) A confocal microscopic study relating the autofluorescence of carious dentine to its microhardness. Br. Dent J 187, 206-210

BANERJEE A., KIDD E.A.M , WATSON T.F. (2000) In vitro evaluation of five alternative methods of carious dentine excavation. Caries Res. 34: 144-150

BLACK G.V. (1914) Konservierende Zahnheilkunde von G.V. .Black. Berlin, Meusser

BRAUN A. (4/2012) Artikel „Karies zum Leuchten Bringen“, ZWP

CRAIG R.G., GEHRING P.E., PEYTON F.A. (1959) Relation of structure to the microhardness of human dentin. J Dent Res 38:624-630

EBERHART J., FRENTZEN M., THOMS M. (2007) Neue optische Methoden zur Kariesdetektion. Fluoreszenzbasierte Verfahren zur Erkennung nichtkavierter Läsionen. ZWR, 116/4: 148-151

FEATHERSTONE J., TEN CATE J., SHARIATI M., ARENDS J. (1983) Comparison of artificial caries-like lesions by quantitative microradiography and microhardness profiles. Caries Res 17:385-391

FUNG L., SMALES R., NGO H., MOUN G. (2004) Diagnostic comparison of three groups of examiners using visual and laser fluorescence methods to detect occlusal caries in vitro. Aust Dent J 49: 67-71

FUSAYAMA T., OKUSE K., HOSODA H. (1968) Relationship between hardness, discoloration and microbial invasion in carious dentin. J Dent Res 45:1033-1046

HEIDEMANN D. (1999) Praxis der Zahnheilkunde, Band 2, 4. Aufl.: Kariologie und Füllungstherapie. Urban & Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore

HELLWIG E., KLIMEK J., ATTIN T. (1999) Einführung in die Zahnerhaltung. Urban & Fischer, München-Jena: 2. Auflage

HELLWIG E. (2009) Einführung in die Zahnerhaltung, Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie : Mit 60 Tabellen, überarb. und erw. Aufl. Köln: Dt. Zahnärzte-Verl.

HELLWIG E., ALTENBURGER M., ATTIN T., LUSSI A., BUCHALLA W. (2010)
Remineralization of initial carious lesions in deciduous enamel after application of dentifrices of different fluoride concentrations. Clin Oral Investig, 10:265-269.

HIBST R. (1999) Optische Methoden zur Kariesdiagnose. ZWR., 108/1-2: 50-55.

HOFFMANN-AXTELHELM W (1973) Die Geschichte der Zahnheilkunde. Buch und Zeitschriftenverlag „Die Quintessenz“.

HÜLSMANN M., PETERS OA., DUMMER M.H. (2005) Mechanical Preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. Endod Topics ;19 30-76

JABLONSKI-MOMENI A., STOLL R. (04/08/2010) Dental Tribune German Edition, Nr. 7+8/2010

KEYES P.H. (1962) Recent advances in dental caries research. Bacteriology. Bacteriological findings and biological implications. Int Dent J 12, 443-464

KIDD E. A., RICHARDS A., THYLSTRUP A., FEJERSKOV O. (1984) The susceptibility of 'young' and 'old' human enamel to artificial caries in vitro. Caries Res 18: 226-30

KIDD E.A. (2004) How 'clean' must a cavity be before restoration? Caries Res

KIDD, E.A.M., RICKETTS D.N., BEIGHTON D. (1996) Criteria for caries removal at the enamel-dentine-junction: a clinical and microbiological study. Br Dent J. Jul 6. 1996 181(1):10.

KLIMEK J., HELLWIG E. (1999) Kariesätiologie und –Diagnose. In: Heilmann D, (Hrsg.): Kariologie und Füllungstherapie, Urban und Schwarzenberg Verlag, 4. Auflage

KÖNIG K.G. (1971) Karies und Kariesprophylaxe, München, Wilhelm Goldmann Verlag GmbH

KÖNIG K., FLEMMING G., HIBST R. (1998) Laser-induced autofluorescence spectroscopy of dental caries. Cell Mol Biol (Noisy-le-grand), 44:1293-300.

KÜHNISCH J., DIETZ W., BUTZ C. (2003) Ist die zahnärztliche Sonde noch ein zeitgemäßes Diagnoseinstrument? Quintessenz 2003, 54/10: 1049-1054.

KUHNISCH J., ZIEHE A., BRANDSTADT A., HEINRICH-WELTZIEN R. (2004) An in vitro study of the reliability of Diagnodent® measurements. J Oral Rehabil 31: 895-899

KÜNZEL W. (1979) Strukturanomalien der Zähne. In: Künzel, W: Lehrbuch der Kinderstomatologie. Johann Ambrosius Barth, Leipzig

LEHMANN K., HELLWIG E. (2005) Zahnärztliche Propädeutik, 10. Auflage,

Urban & Fischer Verlag, Seite 33 ff.

LEHMANN U. (1996) Paläontologisches Wörterbuch. 4. Auflage, Enke Verlag, Stuttgart, 213

LUSSI A., HOTZ P., STICH H. (1995) Die Fissurenkaries. Diagnostik und therapeutische Grundsätze. Dtsch Zahnärztl. Z 50, 629

LUSSI A., IMWINKELRIED S., PITTS N., LONGBOTTOM C., REICH E. (1999) Performance and reproducibility of a laser fluorescence system for detection of occlusal caries in vitro. Caries Res, 33: 261-266.

MEREDITH N., SHERRIFF M., SETCHEL D.J., SWANSON S.A.V. (1996) Measurement of the micro hardness and Young's Modulus of human enamel and dentine using an indentation technique. Archs Oral Biol 41:539-545

MILLER J., HOBSON P. (1956) Determination of the presence of caries in fissures. Br Dent J 100, 15-18

MILLER W.D. (1899) Die Mikroorganismen der Mundhöhle. Thieme Leipzig

MITTERMAYER C.H. (1984) Zahnkaries. Oralpathologie für Studenten und Ärzte. Schattauer, Stuttgart-New York: 179-193

NIKIFORUK G. (1985) Understanding dental caries. II: Prevention S. Karger, Basel

OGAWA K., YAMASHITA T., ICHIJO T., FUSAYAMA T. (1983) The ultra-structure and hardness of the transparent layer of human carious dentin. J Dent Res 62:7-10

PARFITT G.J. (1954) A standard clinical examination of the teeth. Br Dent J 96, 296-300

POLYKLINIK FÜR PARODONTOLOGIE UND ZAHNERHALTUNG MÜNCHEN
(2015), unter: http://www.klinikum.uni-muenchen.de/Poliklinik-fuer-Zahnerhaltung-und-Parodontologie/bilder/inhalt/forschung/haerte_pruefgeraet.jpg (abgerufen am 02.11.2015)

RAUTIOLA C., CRAIG R. (1961) The microhardness of cementum and underlying dentine of normal teeth to periodal disease. J Periodont 32:113-123

SAUERWEIN E. (1974) Kariologie. Georg Thieme Verlag Stuttgart

SCHILDOWSKI M. (2006) Spezielle Anforderungen an die Kariesprophylaxe im Wechselgebiss. ZWR 2006, 114/4: 149-152

SCHRÖDER H. (1992) orale Strukturbilogie: Thieme

SCHRODER H.E. (1987) Orale Strukturbilogie 3. Aufl. Georg Thieme Verlag Stuttgart

SCHROEDER H.E. (1997) Pathobiologie oraler Strukturen. 3. Aufl. Karger Verlag Basel

SEILLER W. (1973) Über Vickers-Mikrohärtemessungen an Schmelz, Dentin und Zement. Oesterr Z Stomatol. 1973 Jun; 70(6): 222-30.

SIRONA (2015): <http://www.sirona.com/de/produkte/instrumente/siroinspect/?tab=721> (abgerufen am 02.11.2015)

TERRER E., KOUBI S., DIONNE A., WEISROCK G., SARRAQUIGNE C., MAZUIR A., et al. (2009) A new concept in restorative dentistry: Light-induced fluorescence evaluator for diagnosis and treatment. Part 1: Diagnosis and treatment of initial occlusal caries. J Contemp Dent Pract;10:E086-94.

TERRER E., KOUBI S., DIONNE A., WEISROCK G., SARRAQUIGNE C. et al.

(2010) A new concept in restorative dentistry: LIFEDT-light-induced fluorescence evaluator for diagnosis and treatment: Part 2 - treatment of dentinal caries. J Contemp Dent Pract 2010;11:E095-102

11. Materialliste

- ◆ Bürstchen (Occlubrush, Kerr Hawe, Bioggio, Schweiz)
- ◆ Digitalkamera (Modell EOS 5500, Canon Europe Ltd, Uxbridge, United Kingdom)
- ◆ grünes Winkelstück (INTRAmatic Lux 3, Kavo, Biberach an der Riß)
- ◆ Hochpassfilter (Danubia, Japan)
- ◆ Kleinhärteprüfgerätes (Durimet, Leitz, Wetzlar)
- ◆ Rosenbohrern (ISO 14, Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo)
- ◆ Thermoplastische Masse (KerrHawe SA, Bioggio, Schweiz)
- ◆ Trennschleifsystems (EXAKT Apparatebau, Norderstedt)
- ◆ SirolInspect-Systems (Sirona Dental, Bensheim)

12. Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer an der Universität Marburg waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten:

Arweiler, Braun, Cetin, Czubayko, Feuser, Frankenberger, Gente, Gloerfeld, Höffken, Kinscherf, Koolmann, Korbmacher-Steiner, Lamp, Lill, Lotzmann, Mengel, Milani, Mittag, Moll, Neff, Neumüller, Nonnenmacher, Pieper, Ramaswamy, Richter, Roggendorf, Steiniger, Teymoortash, Weihe, Westermann, Wrocklage

13. Danksagung

Meinem Doktorvater, Herr Prof. Dr. Andreas Braun möchte ich herzlichst für die Überlassung meines Dissertationsthemas und die zuverlässige und vor allem nicht selbstverständliche Unterstützung während der Fertigstellung dieser Arbeit danken. So einen Doktorvater wünschen sich Viele!

Außerdem danke ich meinen Eltern und Großeltern für die, weit über das Studium hinaus gehende, Unterstützung. Eurer Mühe sei Dank hat es mir nie an etwas gefehlt. Ihr habt auch dann noch an mich geglaubt, wenn ich selbst es nicht getan habe. Ich entschuldige mich rückwirkend für das viele Gejammer, das Ihr euch während dem Entstehungsprozess dieser Arbeit anhören musstet!

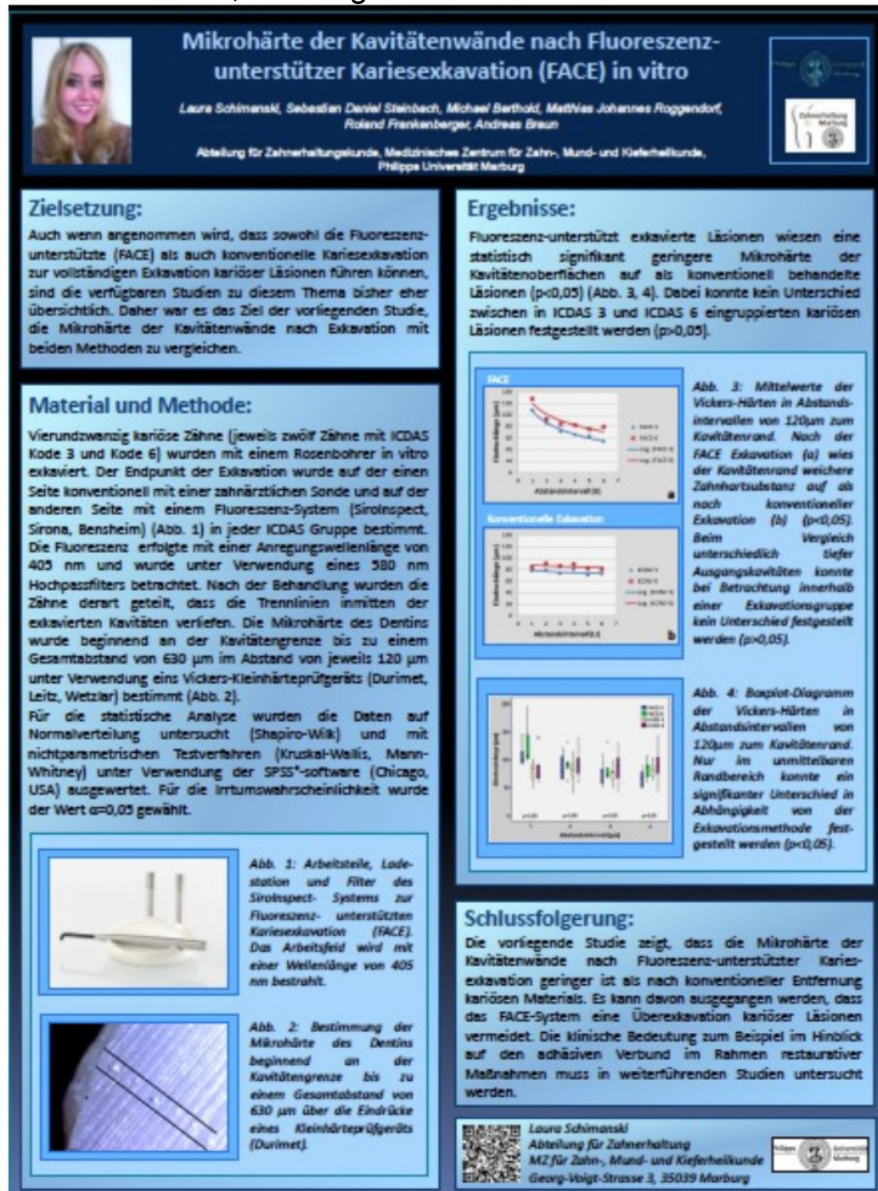
Zu guter Letzt möchte ich meinem ehemaligen Kommilitonen und bestem Freund Sebastian Steinbach einen Dank aussprechen. Mit dir zusammen haben die vielen arbeitsintensiven Stunden im Labor tatsächlich ein Stückweit Spaß gemacht. Danke!

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel „Mikrohärte der Kavitätenwände nach Fluoreszenz-unterstützter Kariesexkavation (FACE) in vitro.“ im in der Klinik für Mund- , Kiefer- und Gesichtsheilkunde unter Leitung von Prof. Dr. Korbmacher-Steiner mit Unterstützung durch Prof. Dr. Andreas Braun ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe. Ich habe bisher an keinem in- oder ausländischen Medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt. Ich versichere, dass ich sämtliche wörtlichen oder sinngemäßen Übernahmen und Zitate kenntlich gemacht habe. Mit dem Einsatz von Software zur Erkennung von Plagiaten bin ich einverstanden.

Düsseldorf , 01.06.2016

Vorliegende Arbeit wurde in folgenden Publikationsorganen veröffentlicht:

Poster auf der 27. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung.
1. Gemeinschaftstagung der DGZ und der DGET mit der DGPZM und der DGR2Z. 10.-12. Oktober, Marburg.



Schimanski, L., Steinbach, S.D., Berthold, M., Roggendorf, M.J., Frankenberger, R., Braun, A.: Mikrohärte der Kavitätenwände nach Fluoreszenzunterstützter Kariesexkavation (FACE) in vitro. 27. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung. 1. Gemeinschaftstagung der DGZ und der DGET mit der DGPZM und der DGR2Z. 10.-12. Oktober, Marburg. Dtsch Zahnärztl Z 68(9): D25 (2013).

Düsseldorf, 01.06.2016

Die Hinweise zur Erkennung von Plagiaten habe ich zur Kenntnis genommen, die Angebote der Philipps-Universität zur Plagiatserkennung (Plagiatsoftware zu beziehen über das Hochschulrechenzentrum) sind mir bekannt.

Marburg , 05.06.2016